

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดควบคุมการทำงานระยะไกลผ่านสายไฟกระแสสลับโดยไม่ใช้หม้อแปลง

TRANSFORMERLESS REMOTE CONTROL VIA AC LINE



เลขที่.....

82469

เลขทะเบียน.....

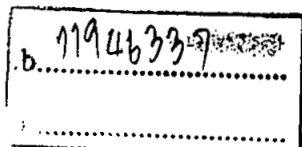
วัน,เดือน,ปี...1.1 ก.ค. 2551

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดควบคุมการทำงานระยะไกลผ่านสายไฟกระแสสลับโดยไม่ใช้หม้อแปลง
TRANSFORMERLESS REMOTE CONTROL VIA AC LINE

โดย

นางสาวปัทมา จอประเสริฐกุล เลขประจำตัว 47010462

นางสาวพัชรี สานา เลขประจำตัว 47010503



ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวិชากรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดควบคุมการทำงานระยะไกลผ่านสายไฟฟ้ากระแสสลับโดยไม่ใช้หม้อแปลง

(TRANSFORMERLESS REMOTE CONTROL VIA AC LINE)

ผู้จัดทำ

1.นางสาวปติยา จอประเสริฐกุล เลขประจำตัว 47010462

2.นางสาวพัชรี สานา เลขประจำตัว 47010503



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดควบคุมการทำงานระยะไกลผ่านสายไฟกระแสสลับ โดยไม่ใช้หม้อแปลง

นางสาวปิตยา จอประเสริฐกุล รหัส 47010462

นางสาวพัชรี สานา รหัส 47010503

ผศ.พลผดุง ผดุงกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบชุดควบคุมการทำงานระยะไกลผ่านสายไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งชุดควบคุมจะประกอบด้วยตัวส่งและตัวรับ ตัวส่งจะรับข้อมูลดิจิทัล (อัตราการรับ-ส่งข้อมูล 300 บิตต่อวินาที) จากพอร์ตอนุกรม นำสัญญาณมาถอดดูเลตแบบ ASK ความถี่ 100 kHz และสวิตช์ผ่านทรานซิสเตอร์ complementary ส่งผ่านตัวเก็บประจุเข้าสู่สายไฟบ้านแทนการใช้หม้อแปลง ในส่วนของตัวรับ จะรับสัญญาณผ่านตัวเก็บประจุและเข้าสู่วงจรกรองความถี่แบบ Bandpass Filter เพื่อคัดสัญญาณรบกวน หลังจากนั้นจะเข้าวงจรขยายเพื่อขยายสัญญาณและเข้าสู่วงจร envelope detector เพื่อหาค่าแอมพลิจูดสัญญาณออกมา เป็นข้อมูลส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C52 เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า

TRANSFORMERLESS REMOTE CONTROL VIA AC LINE

Miss Peetiya Jorprasertkul ID. 47010462

Miss Patcharee Sana ID. 47010503

Asst. Prof. Polphadung Phadungkul Advisor

Educational Year 2007

Abstract

This project designs circuits to send digital data via AC line to control the electric equipments. It consists of transmitter and receiver. Transmitter receives digital data from serial port (Baud rate = 300 bits/sec). Then, modulate (ASK) digital data with carrier 100 kHz. Next, the modulated signal is switched by complementary transistor and sent via AC line with coupling capacitance instead transformer. Receiver receives the modulated signal via AC line by coupling capacitance. Then the modulated signal pass band pass filter (tank) and amplifier. Next, send it to envelope detector to demodulate. The modulating signal is sent to microcontroller AT89C52 to control electrical equipments.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยได้รับคำปรึกษาและแนะนำจาก ผศ.พลผดุง ผดุงกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ให้คำปรึกษาและดูแลการทำโครงงานมาโดยตลอด ซึ่งทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง รวมทั้งต้องขอกล่าวขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนร่วมงานที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ซึ่งทำให้งานชิ้นนี้เสร็จลุล่วงไปได้ อีกทั้งที่สำคัญอย่างยิ่งก็คือคุณพ่อคุณแม่ที่สนับสนุนเงินทุนค่าเล่าเรียน และคอยให้กำลังใจเสมอมา

หากมีข้อขาดตกบกพร่องประการใดทางผู้จัดทำก็ขออภัยมา ณ.ที่นี้ด้วยและหากโครงงานนี้มีประโยชน์อันใดก็ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านด้วย



.....
(นางสาวปติยา จอประเสริฐกุล)

.....
(นางสาวพัชรี สานา)

ผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 โครงสร้างของรายงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ระบบสื่อสาร	3
2.1.1 อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต	3
2.1.2 เครื่องส่ง	4
2.1.3 ช่องทางสื่อสาร	4
2.1.4 ความถี่และความยาวคลื่น	4
2.1.5 สัญญาณรบกวน	5
2.1.6 เครื่องรับ	5
2.1.7 การมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบอนาล็อก	6
2.1.8 การมอดูเลตแบบดิจิทัล	10
2.2 สภาพแวดล้อมของสายส่ง	13
2.2.1 ปัญหาการลดทอนของสัญญาณสื่อสาร	13
2.2.2 ปัญหาสัญญาณรบกวนต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลัง	14
2.3 มาตรฐานที่ต้องคำนึงถึงในการสื่อสารบนสายไฟฟ้ากำลัง	14
2.3.1 การเลือกความถี่	14
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	15
2.4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของ Microcontroller ในตระกูล MCS-51	16
2.4.2 หน่วยความจำโปรแกรม	16
2.4.3 MCS-51 Family	17
2.4.4 MCS-51 Pin	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 AT89C52	21
2.5 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม	27
2.6 วงจรเรโซแนนซ์	31
2.7 วงจร Envelope detector	32
2.8 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator)	33
บทที่ 3 การออกแบบ	39
3.1 บล็อกไดอะแกรมโดยรวมของระบบ	39
3.2 ภาควงสัญญาณ	40
3.3 ภาควงรับสัญญาณ	53
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	60
การทดลองที่ 1 การทดสอบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	60
การทดลองที่ 2 วัดสัญญาณที่จุดต่างๆของวงจรภาควงและภาควงรับ	63
การทดลองที่ 3 โปรแกรมควบคุมการหมุน DC MOTOR	67
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	69
5.1 สรุปผลการปฏิบัติงาน	69
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน	69
5.3 แนวทางในการแก้ไข้ปัญหา	70
5.4 ประโยชน์ในการประยุกต์ใช้งาน	70
5.5 สิ่งที่ได้จากการทำโครงการ	70
ภาคผนวก	71
Datasheet LNK-306	72
กิตติกรรมประกาศ	73
เอกสารอ้างอิง	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบสื่อสารพื้นฐาน	3
รูปที่ 2.2 การมอดูเลตเชิงขนาด(AM)	6
รูปที่ 2.3 การคิ่อมอดูเลตเชิงขนาด	8
รูปที่ 2.4 การมอดูเลตเชิงความถี่	9
รูปที่ 2.5 กราฟการตอบสนองของความถี่ในวงจรภาครับรูป S-curve	10
รูปที่ 2.6 สัญญาณ ASK (a) binary ASK (b) 4-Array ASK	11
รูปที่ 2.7 สัญญาณ FSK (a) binary FSK (b) 4-Array FSK	12
รูปที่ 2.8 สัญญาณ PSK (a) binary PSK (b) 4-Array PSK	12
รูปที่ 2.9 Signal constellation ของสัญญาณ PSK (a) 8-Array PSK (b) 16-Array PSK	13
รูปที่ 2.10 สภาพแวดล้อมของสายไฟฟ้า	14
รูปที่ 2.11 แสดงสถาปัตยกรรมภายในของ MCS-51	15
รูปที่ 2.12 แสดงขาต่างของ MCS-51	18
รูปที่ 2.13 ไคอะแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C52 และตัวอย่างชิพไมโครคอนโทรลเลอร์	21
รูปที่ 2.14 ไคอะแกรมสถาปัตยกรรมภายใน 89C52	22
รูปที่ 2.15 ไคอะแกรมสถาปัตยกรรมภายในและขาสัญญาณของตัวถังพลาสติก 40 ขา	23
รูปที่ 2.16ก ไคอะแกรมผังเวลาลำดับการ Fetch และ Execute	24
รูปที่ 2.16ข ไคอะแกรมผังเวลาเมื่อใช้คำสั่งติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก	25
รูปที่ 2.17 โครงสร้างของหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล	26
รูปที่ 2.18 แสดงการส่งข้อมูลแบบขนานและแบบอนุกรม	27
รูปที่ 2.19 แสดงการส่งข้อมูลแบบอนุกรมด้วยความเร็ว 9600 บิตต่อวินาที	28
รูปที่ 2.20 แสดงการส่งข้อมูลขนาด 8 บิตแบบอนุกรมพร้อมด้วย บิตเริ่มต้น,บิตพาริตี,บิตหยุด ด้วยความเร็ว 9600 บิตต่อวินาที	29
รูปที่ 2.21 แสดงระดับแรงดันสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS-232 กับ TTL ในสถานะลอจิก "1" และ "0"	30
รูปที่ 2.22 แสดงตำแหน่งขาของไอซี MAX232, U232 และการต่อใช้งาน	31
รูปที่ 2.23 วงจรเรโซแนนซ์	31
รูปที่ 2.24 วงจรไดโอด Envelope	32
รูปที่ 2.25 วงจรแท่งค์	33

รูปที่ 2.26 แสดงสัญญาณขายนับปริศน์ที่ป้อนเข้ากับวงจรขยายแบบ ZERO CROSSING พร้อมกับเอาต์พุตที่ได้	34
รูปที่ 2.27 วงจรขยาย ZERO CROSSING ที่อินพุตมีสัญญาณรบกวนปนอยู่	35
รูปที่ 2.28 กราฟคุณสมบัติของ Voltage Transfer หรือ Hysteresis ของวงจรขยายแบบ ZERO CROSSING	36
รูปที่ 2.29 แสดงสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุต จากการนำเอาฮิสเตอร์รีซิสมาประยุกต์เพื่อลดสัญญาณรบกวน	37
รูปที่ 2.30 วงจรป้อนกลับ	38
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมโดยรวมของระบบ	39
รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภาคส่ง	40
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภาครับ	40
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรชุด Power Supply เดิม	41
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรชุด Power Supply ใหม่	41
รูปที่ 3.6 วงจรมอดูเลตโดยใช้ IC 555	43
รูปที่ 3.7 วงจรภาคส่ง	52
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน(วงจร tank)	54
รูปที่ 3.9 แสดงวงจรขยายสัญญาณ	54
รูปที่ 3.10 แสดงวงจร Envelope detector	55
รูปที่ 3.11 แสดงวงจรเปรียบเทียบแรงดัน(วงจร Comparator)	55
รูปที่ 3.12 วงจรภาครับ	59
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_o และ I_o ของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงคงที่ 12V 0.35 A ที่โหลดค่าต่างๆ	61
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่วัดจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์	61
รูปที่ 4.3 แสดงการวัดกระแสโดยใส่โหลดที่ดึงกระแสสูงสุดจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ได้ 350 mA	62
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณ data input ที่วัดจากขา4(Reset) ของ NE555 ($V_{cc} = 5V$)	63
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณที่วัดจากขา3(output)ของ NE555 ($V_{cc} = 5V$)	63
รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณที่วัดจากขาcollector ของ complementary transistors(1msTime/DIV) ($V_{cc} = 5V$)	64
รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณที่วัดจากขาcollector ของ complementary transistors(5 μ sTime/DIV)	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Vcc = 5V)

รูปที่ 4.8	แสดงสัญญาณที่วัดจากวงจร tank	65
รูปที่ 4.9	แสดงสัญญาณที่วัดหลังจากวงจร Amplifier(+Vcc = +9V,-Vcc = -10V)	65
รูปที่ 4.10	แสดงสัญญาณที่วัดหลังจากวงจร envelope detector	66
รูปที่ 4.11	แสดงสัญญาณที่วัดหลังจากวงจร comparator (ที่ Vcc = 9V)	66
รูปที่ 4.12	แสดง Form ของโปรแกรมควบคุมการหมุน DC MOTOR	67
รูปที่ 4.13	แสดงหน้าต่างของโปรแกรมควบคุมการหมุน DC MOTORเมื่อเริ่มการทำงาน	67
รูปที่ 4.14	แสดงการควบคุมการหมุน(ตามเข็มนาฬิกา,ทวนเข็มนาฬิกา),การตั้งเวลาให้DC MOTOR ของโปรแกรมควบคุมการหมุน DC MOTOR	68
รูปที่ 4.15	แสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการหมุน DC MOTOR	68



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงย่านความถี่ ความถี่ และความยาวคลื่น	4
ตารางที่ 2.2 ช่วงความถี่ที่ใช้ได้ตามมาตรฐาน EN50065-1	14
ตารางที่ 2.3 แสดงความแตกต่างของ MCS-51 Family	18
ตารางที่ 2.4 แสดงหน้าที่ของขาต่างๆใน MCS-51	19
ตารางที่ 4.1 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุตของวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงคงที่ 12V ที่โหลด ค่าต่างๆ	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

การใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านตามปกติ จะใช้การควบคุมกำลังงานที่ป้อนให้กับอุปกรณ์ด้วยสวิตช์ตัดต่อและสายไฟฟ้าซึ่งการใช้งานจะต้องทำการควบคุมที่ตัวสวิตช์ซึ่งอยู่กับที่โดยตรง ดังนั้นจึงไม่สะดวกถ้าต้องการควบคุมอุปกรณ์ในขณะที่อยู่ห่างจากสวิตช์ เช่นในกรณีที่ต้องการควบคุมหลอดไฟฟ้าที่ชั้นล่าง ในขณะที่อยู่ชั้น 3 หรือต้องการเปิดเครื่องปรับอากาศในห้องนอนที่ชั้นบนไว้รอขณะที่กำลังดูทีวีอยู่ชั้นล่าง เป็นต้น

กรณีที่ต้องการควบคุมอุปกรณ์ที่อยู่ห่างออกไป จะต้องใช้ชุดอุปกรณ์ควบคุม ระยะไกล (Remote Control) ซึ่งโดยทั่วไป จะใช้การควบคุมไปกับตัวนำอื่นๆ ที่สามารถพาสัญญาณควบคุมไปได้ไกล เช่น

1. การส่งสัญญาณควบคุมโดยใช้แสงอินฟราเรด ซึ่งสามารถควบคุมอุปกรณ์ในระยะที่ไม่ห่างมากนัก เพราะแสงอินฟราเรดจะสะท้อนวัตถุไม่สามารถทะลุผ่านได้ การใช้งานก็ เช่น การควบคุมเครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องปรับอากาศ เครื่องเล่นเทปบันทึกภาพดังที่แสดงให้เห็นใช้งานทั่วไปในปัจจุบัน

2. การส่งสัญญาณควบคุมโดยใช้คลื่นวิทยุ สามารถทะลุวัตถุไปได้บ้าง ระยะการใช้งานขึ้นอยู่กับกำลังของเครื่องส่ง แต่ปัญหายุ่งยากที่กฎหมายควบคุมเกี่ยวกับความถี่ในประเทศไทยค่อนข้างจำกัดการใช้งาน และความถี่ส่วนเกินที่อาจเล็ดลอดออกไปรบกวนบ้านข้างเคียงที่อาจใช้คลื่นความถี่ที่เหมือนกัน

3. การส่งสัญญาณควบคุม โดยการใช้สายไฟฟ้าภายในบ้าน (AC Line) เป็นสัญญาณที่สามารถทำการควบคุมได้ในทุกๆตำแหน่งของตัวบ้านที่มีสายไฟไปถึง ลดการเดินสายไฟเพื่อต่อพ่วงกับสวิตช์มากมาย ตัดปัญหาเรื่องการรบกวนกันกับบ้านข้างเคียง เนื่องจากสามารถปิดกั้นสัญญาณได้ด้วย Line noise filter ซึ่งจะทำให้การ Coupling สัญญาณที่ไม่ใช่ 50 เฮิร์ต ไม่ให้ออกไปจากตัวบ้านด้วย ซึ่งโครงการนี้ก็ได้นำระบบนี้มาใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำการศึกษางานพื้นฐานของอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ และสามารถนำความรู้ทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้
2. สร้างอุปกรณ์ควบคุมการทำงานระยะไกลของอุปกรณ์โดยผ่านสายไฟฟ้าบ้านได้
3. เพื่อออกแบบอุปกรณ์ที่ง่ายต่อการใช้งานและสามารถนำไปใช้งานจริงในชีวิตประจำวันได้

1.3 ขอบเขตของงานที่ทำ

โครงการนี้ประกอบด้วยตัวรับและตัวส่ง ตัวส่งจะส่งข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้ากระแสสลับมายังตัวรับ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานต่างๆ โครงการนี้เป็นโครงการนี้ใช้เวลา 2 ภาคการศึกษา จึงมีการแบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนของภาคการศึกษาที่ 1 ทำในส่วนของ Hardware ทั้งหมด (วงจร Supply , วงจรตัวรับตัวส่งซึ่งเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์)และตัวรับตัวส่งสามารถรับส่งกันได้

1.4 โครงสร้างของรายงาน

รายงานฉบับนี้ได้อธิบายขั้นตอน และวิธีในการออกแบบ รวมทั้งวงจร และผลการทดลองทดสอบคุณสมบัติต่างๆของรถบังคับด้วยคลื่นวิทยุ โดยมีเนื้อหาแบ่งเป็นบทต่างๆ ดังนี้

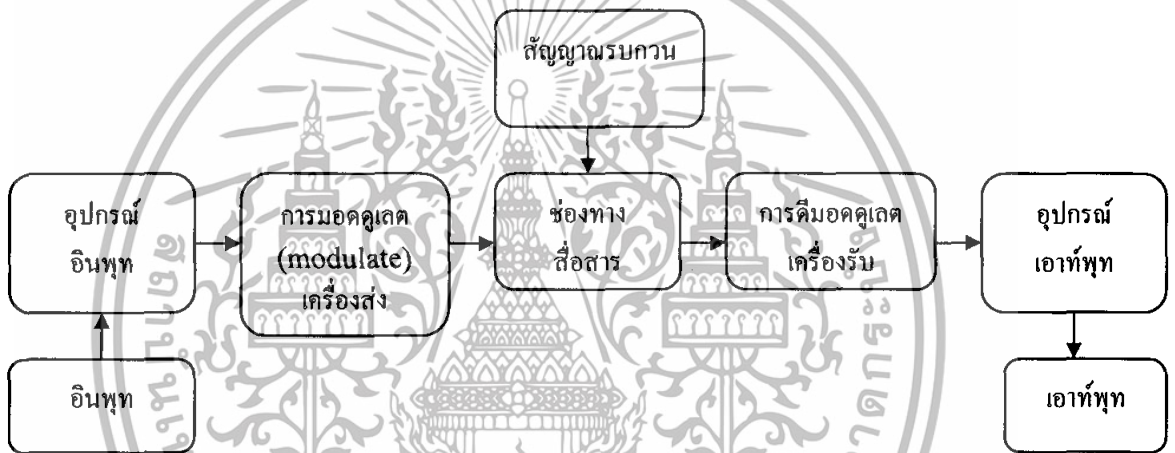
- บทที่ 2 ทฤษฎี จะกล่าวถึงทฤษฎี และหลักการพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ
- บทที่ 3 การออกแบบ จะกล่าวถึงขั้นตอนในการออกแบบส่วนต่างๆ
- บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง จะกล่าวถึงการทดลอง และผลการทดลอง
- บทที่ 5 สรุป และวิจารณ์

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ระบบสื่อสาร

ในระบบสื่อสารไม่ว่าระบบใดก็ตามแผนผังพื้นฐานมักเป็นเหมือนรูปที่ 2.1 ซึ่งระบบสื่อสารบนพื้นฐานประกอบด้วยอุปกรณ์อินพุต (Input device) เครื่องส่ง ช่องทางสื่อสาร (Communication channel) หรือเซนแนล ซึ่งมักมีสัญญาณรบกวนมารบกวนเครื่องรับและอุปกรณ์เอาต์พุต (Output device)



รูปที่ 2.1 ระบบสื่อสารพื้นฐานสัญญาณรบกวน

2.1.1 อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต ความจริงอุปกรณ์อินพุตก็คือ อุปกรณ์ที่แปลงข่าวสารเป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่วนอุปกรณ์เอาต์พุตก็คืออุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากลับมาเป็นข่าวสารนั่นเอง มีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปแล้วแต่การใช้งานเช่น ในระบบวิทยุกระจายเสียง อุปกรณ์อินพุตอาจเป็นไมโครโฟน และอุปกรณ์เอาต์พุตจะเป็นลำโพง สำหรับไมโครโฟนทำหน้าที่แปลงคลื่นเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่วนลำโพงทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากลับเป็นคลื่นเสียง

ในทำนองเดียวกัน ในระบบแพร่ภาพทางโทรทัศน์ อุปกรณ์อินพุตก็คือกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ ซึ่งเปลี่ยนพลังงานแสง (จากภาพ) ไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า และอุปกรณ์เอาต์พุตก็คือหลอดภาพโทรทัศน์ซึ่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากลับคืนเป็นพลังงานแสง

อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตของระบบสื่อสารยังมีอีกมากมาย เช่น คันเคาะโทรเลข เครื่อง

โทรพิมพ์ เครื่องโทรสาร เครื่องโทรมาตร(telemetry) ฯลฯ อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตจะต้องเข้ากับเครื่องส่งและเครื่องรับเสมอ

ข่าวสารที่รับและส่งระหว่างกันแบ่งออกเป็น 3 พวกใหญ่ คือ

- 1. เสียงหรือออดิโอ (audio) ได้แก่ เสียงพูดในระบบโทรศัพท์ เสียงพูด เสียงเพลง หรือเสียงดนตรี ซึ่งต้องการคุณภาพเสียงดีในระบบวิทยุกระจายเสียง
- 2. ภาพ (picture) ได้แก่ ภาพนิ่งในระบบโทรสาร (facsimile) และระบบส่งภาพระยะไกล (telephoto) ภาพยนตร์ในระบบโทรทัศน์
- 3. ข้อมูล (data) ส่วนใหญ่ส่งมาเป็นรหัสให้แก่เครื่องยนต์ เครื่องจักร เครื่องคอมพิวเตอร์ ฯลฯ ได้แก่ ข้อมูลและคำสั่งในระบบโทรมาตร ตัวอักษรในระบบโทรพิมพ์หรือโทรเลข ข้อมูลคอมพิวเตอร์ในระบบคอมพิวเตอร์

2.1.2 เครื่องส่ง เครื่องส่งทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์อินพุต แล้วทำการมอดูเลตกับคลื่นพาห้ความถี่สูง เครื่องส่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (เรียกว่า Oscillator) กับมอดูเลต เครื่องส่งส่วนใหญ่มีภาคขยายอีกเพื่อให้สัญญาณที่ส่งออกมีกำลังแรง ทำให้สื่อสารได้ไกลขึ้น

2.1.3 ช่องทางสื่อสาร ช่องทางสื่อสารในที่นี้ ได้แก่ บรรยากาศอวกาศว่าง (free space) หรือสาย ฯลฯ แต่ในที่นี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะระบบวิทยุเท่านั้น ช่องทางสื่อสารของระบบวิทยุอาศัยการแผ่คลื่นวิทยุออกไป โดยผ่านบรรยากาศที่เป็นตัวกลาง (medium) ซึ่งคลื่นเดินทางจากเครื่องส่งผ่านไปยังเครื่องรับ

2.1.4 ความถี่และความยาวคลื่น เรานิยมแบ่งคลื่นวิทยุออกเป็นย่านความถี่ต่างๆ โดยมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hertz) ในประวัติศาสตร์การวิทยุ เราแบ่งคลื่นวิทยุตามความยาวคลื่น (Wave length) ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับความถี่เป็นดังนี้

$$v = lf \tag{2.1}$$

เมื่อ v คือ ความเร็วของคลื่นวิทยุในอากาศ เท่ากับความเร็วแสง 3×10^8 เมตร/วินาที

l คือ ความยาวคลื่น มีหน่วยเป็นเมตร

f คือ ความถี่ มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

ตารางที่ 2.1 แสดงย่านความถี่ ความถี่ และความยาวคลื่น

ย่านความถี่	ความถี่	ความยาวคลื่น
Very Low Frequency (VLF)	ต่ำกว่า 30 kHz	ยาวกว่า 10 km
Low Frequency (LF)	30 – 300 kHz	10 – 1 km
Medium Frequency (MF)	300 – 3000 kHz	1000 – 100 m

High Frequency (HF)	3 – 30 MHz	100 – 10 m
Very High Frequency (VHF)	30 – 300 MHz	10 – 1 m
Ultra High Frequency (UHF)	300 – 3000 MHz	100 – 10 cm
Super High Frequency (SHF)	3 – 30 GHz	10 – 1 cm
Extremely High Frequency (EHF)	30 – 300GHz	10 – 1 mm

2.1.5 สัญญาณรบกวน เป็นสัญญาณที่เข้ามาแทรกแซงหรือรบกวน (Interfere) สัญญาณรบกวนที่รับมาได้แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

1) สัญญาณรบกวนบรรยากาศ (Atmospheric noise) เกิดขึ้นจากความแปรปรวนของบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก เช่น ฟ้าแลบ ฟ้าผ่า ก่อให้เกิดคลื่นวิทยุแผ่ออกไปรอบโลก สัญญาณรบกวนบรรยากาศเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาแม้จะไม่มีพายุฝนฟ้าคะนองก็ตาม

2) สัญญาณรบกวนจากอวกาศ (Space noise) เกิดจากดวงอาทิตย์และดวงดาวนับล้านๆดวงในจักรวาล ดวงอาทิตย์เป็นวัตถุที่มีขนาดมหึมาและมีความร้อนสูงถึง 6000 องศาเซลเซียสที่ผิวดวงอาทิตย์ ฉะนั้นดวงอาทิตย์จะแผ่พลังงานออกมาเป็นสเปกตรัมความถี่กว้างมาก พลังงานนี้ปรากฏออกมาเป็นสัญญาณรบกวนคงที่ อย่างไรก็ตามที่ผิวดวงอาทิตย์ยังมีความแปรปรวนอื่นๆอีก เช่น จุดบนดวงอาทิตย์ (Sun spot) การลุกโชติช่วง (Solar flare) ซึ่งก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นอีก นอกจากนี้ดวงอาทิตย์บางดวงที่ไกลออกไปจากระบบสุริยะจักรวาลก็มีคุณสมบัติเหมือนดวงอาทิตย์ คือ มีความร้อนสูงและสามารถกำเนิดสัญญาณรบกวนมายังโลกได้

3) สัญญาณรบกวนที่เกิดจากสิ่งประดิษฐ์ที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-made noise) ได้แก่ สัญญาณรบกวนจากมอเตอร์ไฟฟ้า เช่นพัดลมที่เป่าลม เครื่องดูดฝุ่น นอกจากนี้ก็ยังมีสัญญาณรบกวนจากระบบจุดระเบิดของรถยนต์ การรั่วของสายไฟแรงสูง หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ฯลฯ

4) สัญญาณรบกวนภายในอุปกรณ์ในเครื่องรับ (Internal noise) แยกเป็น 2 ประเภท คือ สัญญาณรบกวนจากอุณหภูมิ (Thermal noise) และช็อตคนอยส์ (Shot noise) สัญญาณรบกวนจากอุณหภูมิเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในตัวอุปกรณ์ บางครั้งเรียกว่า จอห์นสัน (Johnson noise) ส่วนช็อตคนอยส์เกิดขึ้นในอุปกรณ์แอคทีฟ (Active noise) ทุกชนิด เนื่องจากการรวมตัวของอิเล็กตรอนกับโฮล เช่น ในทรานซิสเตอร์ซึ่งไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ

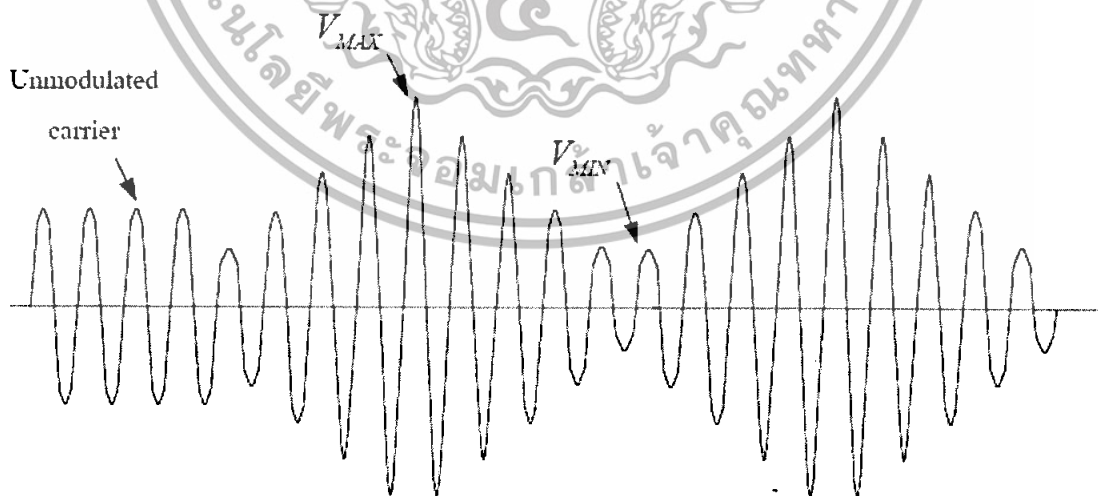
2.1.6 เครื่องรับ เมื่อรับสัญญาณจากเครื่องรับ สัญญาณจะมีกำลังอ่อนลงและยังมีสัญญาณรบกวนเข้ามาแทรกแซงสัญญาณที่ต้องการจะรับอีกด้วย ดังนั้นการรับสัญญาณอ่อน ๆ เช่นนี้ เครื่องรับจึงต้องมีความสามารถพิเศษในการเลือกรับและขยายเอาเฉพาะสัญญาณความถี่ที่ต้องการ พร้อมทั้งต้องมีกรรมวิธีในการกำจัดสัญญาณรบกวนหรือต่อสู้เอาชนะสัญญาณรบกวน สัญญาณที่

รับได้จะผ่านการดีมอดเพื่อแปลงสัญญาณข่าวสารที่เข้ามาออดูเลตกลับมา
กลับจับช้อนพอสมควร

กรรมวิธีนี้ค่อนข้าง

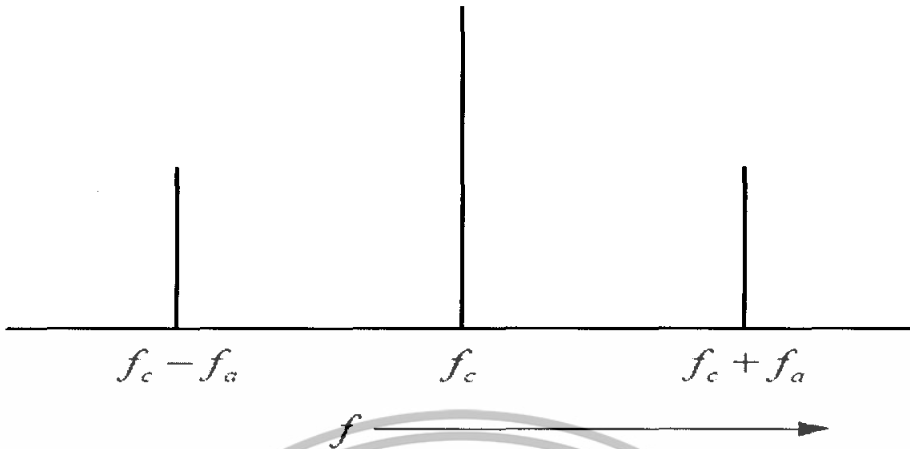
2.1.7 การมอดูเลต และการดีมอดูเลตแบบอนาลอก ความถี่ของข้อมูลหรือสัญญาณโดยทั่วไป มักจะมีความถี่ต่ำ การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำจะกระทำไม่ได้ดี เพราะ สัญญาณความถี่ต่ำจะมีความยาวคลื่นมาก เราสามารถที่จะเลื่อนความถี่ของสัญญาณให้มีค่าสูงขึ้น ได้โดยการมอดูเลตสัญญาณที่ต้องการจะส่งกับคลื่นพาห์(carrier) ความถี่สูง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ได้ว่าการมอดูเลตคือกระบวนการที่สัญญาณที่จะส่ง(Modulating Signal) ทำให้คุณสมบัติของ คลื่นพาห์ (ขนาด ความถี่ และเฟส) เปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะของสัญญาณ สัญญาณที่ได้จากการ มอดูเลตเรียกว่า Modulated Signal (wave)

1) การมอดูเลตเชิงขนาด (AM) คือ ผสมสัญญาณข่าวสารกับสัญญาณพาห์โดยสัญญาณ เอาท์พุทที่ได้จากการมอดูเลตจะเป็นสัญญาณพาห์ที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดซึ่งมีการเปลี่ยนแปลง ตามขนาดของสัญญาณข่าวสารที่นำมามอดูเลตดังแสดงในรูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ พาห์ในรูป 2.2a เรียกว่า กรอบของสัญญาณการมอดูเลต ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสัญญาณ เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต(เป็นบวกหรือลบ) สัญญาณที่แสดงได้มาจากการมอดูเลต กับสัญญาณที่เป็นขายนในขณะไม่มีการมอดูเลตสัญญาณพาห์มีขนาดของสัญญาณ อยู่ระหว่าง V_{max} และ V_{min} หรือมีค่าเท่ากับ $(V_{max} + V_{min}) / 2$ สิ่งสำคัญที่มีผลต่อขนาดของสัญญาณก็คือ สัญญาณที่นำมาเข้ามามอดูเลตซึ่งทำให้ขนาดของ สัญญาณพาห์มีการเปลี่ยนแปลง



a) สัญญาณมอดูเลตเชิงขนาดในคาบของเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บ) สัญญาณในคาบของความถี่

รูปที่ 2.2 การมอดูเลตเชิงขนาด(AM)

จากรูป 2.2a) เกิดจากการมอดูเลตที่มีขนาดของสัญญาณข่าวสารเป็นตัวกำหนดจุดเปลี่ยนแปลงของสัญญาณพาห้ ถ้าขนาดของสัญญาณข่าวสารสูงสุดเท่ากับขนาดของสัญญาณพาห้ จะสามารถหาค่าดัชนีการมอดูเลต (m_a) ของการมอดูเลตเชิงขนาดได้จาก

$$m_a = \frac{V_a}{V_c} \quad (2.2)$$

เมื่อ V_a คือแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต

V_c คือแอมพลิจูดของสัญญาณพาห้

ค่าสูงสุดของดัชนีการมอดูเลตเท่ากับหนึ่ง หากคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จะไม่เกิน 100 %

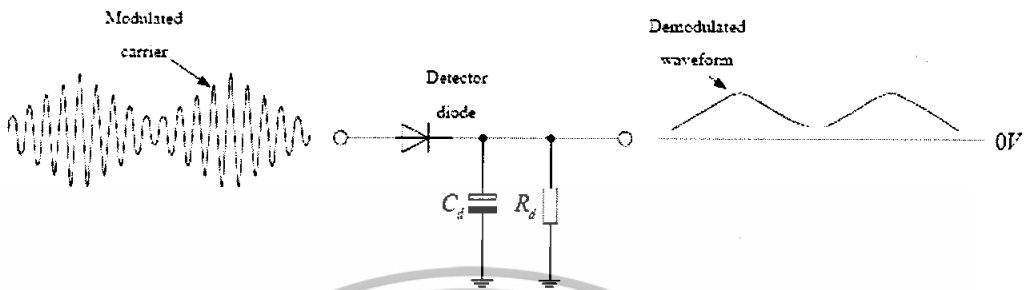
การมอดูเลตเชิงขนาดหากพิจารณาในเรื่องของไซด์แบนด์ที่แสดงใน รูปที่ 2.2b) นั้นจะพบว่าเกิดเป็นสเปกตรัมของไซด์แบนด์ด้านต่ำที่ตำแหน่ง $f_c - f_a$ และสเปกตรัมของไซด์แบนด์ด้านสูงจะปรากฏที่ตำแหน่ง $(f_c + f_a)$ จากไซด์แบนด์ทั้งสองสามารถหาแบนวิธของการมอดูเลตเชิงขนาดซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$f_u - f_L = 2f_a \quad (2.3)$$

ในการส่งสัญญาณวิทยุระบบAMโดยกำหนดให้มีความถี่ในการมอดูเลตสูงสุด 5 kHz และมีแบนวิธ 10kHz ข้อดีของการมอดูเลตเชิงขนาดก็คือความง่ายในการผสมสัญญาณ ข้อเสียก็คือมีการรบกวนของสัญญาณอื่นๆได้ง่าย และใช้กำลังส่งสัญญาณมาก

2) การดีมอดูเลตเชิงขนาด คือ การคืนรูปสัญญาณข่าวสารจากระบบการส่งสัญญาณข่าวสารแบบAM จะทำการแยกสัญญาณข่าวสารออกจากสัญญาณพาห้ที่ส่งมาด้วย โดยจะทำการกรองเอาแต่เฉพาะสัญญาณที่เป็นข่าวสารออกมา ส่วนสัญญาณพาห้ที่เป็นสัญญาณความถี่สูงนั้นจะ

ไม่สามารถผ่านออกมาได้ ซึ่งคุณสมบัติที่กล่าวมานี้เป็นคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ดังตัวอย่างของวงจรคิมอดูเลตตามรูปที่ 2.3 แสดงวงจรพื้นฐานของวงจรคิมอดูเลตเชิงขนาดไว้ดังนี้



รูปที่ 2.3 การคิมอดูเลตเชิงขนาด

ไดโอดจะกรองสัญญาณซิกเลตทิ้ง ส่วนตัวเก็บประจุและตัวต้านทานจะประกอบกันเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะกำจัดสัญญาณพาห้ส่วนที่เหลือออกจากสัญญาณข่าวสารจะเหลือแต่ส่วนที่เป็นสัญญาณข่าวสารเท่านั้นที่ตกคร่อม R_d อยู่

ในการเลือกใช้ค่า C_d และ R_d นั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของสัญญาณข่าวสารที่ตอบสนองค่า C_d และ R_d มากสามารถตอบสนองด้วยค่าความถี่สูงๆ ได้ดี ถ้า C_d หรือ R_d น้อยสัญญาณตอบสนองที่เอาที่พหะต่ำในการเลือกใช้จะต้องพิจารณาตามความเหมาะสมในการใช้งานด้วย

3) การมอดูเลตเชิงความถี่ (FM) เป็นกระบวนการมอดูเลตที่มีความซับซ้อนและมีแบนด์วิดท์ กว้างกว่าการมอดูเลตเชิงขนาดแต่การมอดูเลตเชิงความถี่ได้มีการปรับปรุงจากข้อเสียต่างๆ ของการส่งสัญญาณแบบ AM ให้มีประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณได้ดียิ่งขึ้น โดยที่การส่งสัญญาณแบบ FM สามารถลดสัญญาณรบกวนที่เกิดกับระบบการสื่อสารได้

การมอดูเลตเชิงความถี่ คือ กระบวนการมอดูเลตที่ทำให้ความถี่ของสัญญาณพาห้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามความถี่ที่เข้ามามอดูเลต โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ Δf_c ของสัญญาณพาห้จะเป็นสัดส่วนกับแอมพลิจูด (v_a) ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตดังในสมการ

$$\Delta f_c = K V_a \quad (2.4)$$

K คือ ความไวในการเบี่ยงเบนความถี่ (ความถี่/V)

จากรูปที่ 2.4 แสดงสัญญาณพาห้ที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ตามแอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสารสังเกตในรูป เมื่อสัญญาณข่าวสารมีศักย์เป็นค่าบวกส่งผลให้ความถี่ของสัญญาณพาห้มีค่าสูงและความถี่ของสัญญาณจะต่ำเมื่อสัญญาณข่าวสารมีศักย์เป็นลบ ทิศทางของการเปลี่ยนแปลงความถี่จะเริ่มเมื่อสัญญาณข่าวสารเป็นบวก ความถี่ของสัญญาณพาห้จะสูงขึ้นตามกับระดับแอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสารจนความถี่ของสัญญาณพาห้สูงสุดที่ระดับแอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสารมีแอมพลิจูดสูงสุด และเมื่อแอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสารเริ่มลดลงความถี่ของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พาห์ ก็จะลดลงจนเมื่อแอมพลิจูดของสัญญาณข่าวสารถึงระดับที่ต่ำสุด ความถี่ของสัญญาณพาห์ก็จะมีค่าต่ำสุดด้วยเช่นกัน

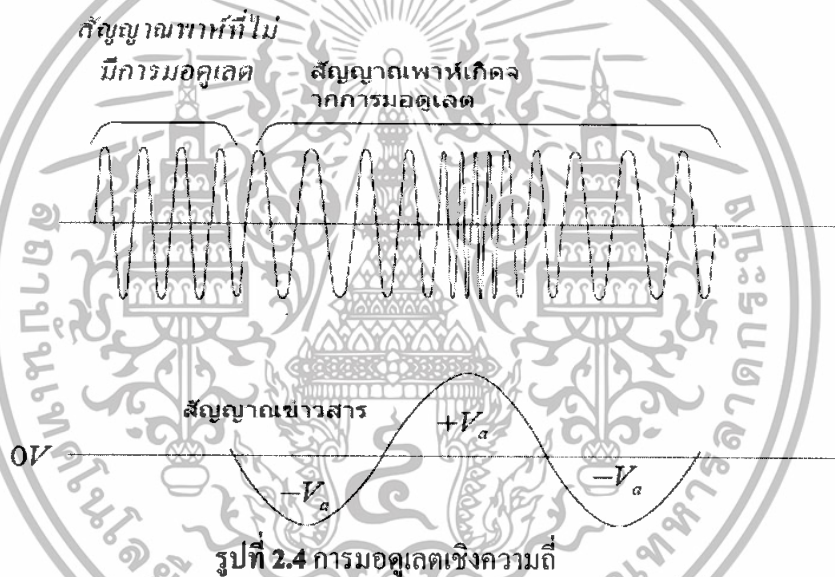
ดัชนีการมอดูเลต (m_f) ของการมอดูเลตเชิงความถี่ (FM) สามารถหาได้จากการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณพาห์ เกี่ยวกับ ความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต ดังสมการต่อไปนี้

$$m_f = \frac{\Delta f_c}{f_a} \quad (2.5)$$

และจาก $\Delta f_c = K V_a$

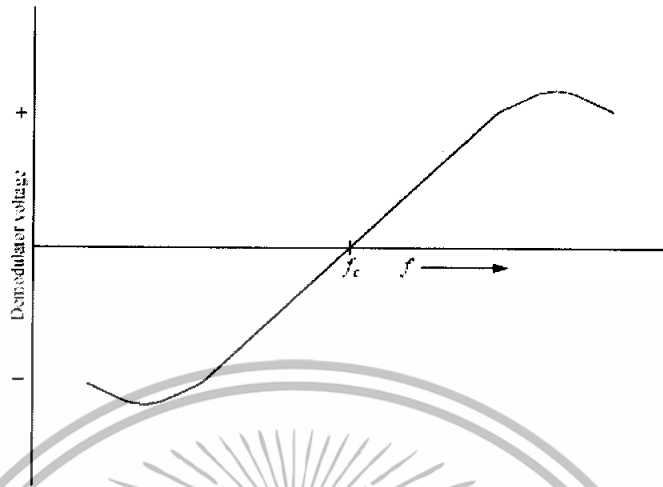
$$m_f = \frac{K V_a}{f_a} \quad (2.6)$$

ที่สำคัญดัชนีการมอดูเลตเชิงขนาดและดัชนีการมอดูเลตเชิงความถี่ ต้องน้อยกว่าหรือมีค่าเท่ากับ 1



พิจารณาความถี่ไซด์แบนด์ที่เกิดจากการมอดูเลตเชิงความถี่จะมีความแตกต่างกันกับการมอดูเลตเชิงขนาด การมอดูเลตเชิงความถี่เป็นการมอดูเลตที่ใช้สำหรับสัญญาณพาห์เพียงสัญญาณเดียวสามารถทำให้เกิดความถี่ไซด์แบนด์ต่างๆ ขึ้นมากมาย ซึ่งความถี่ไซด์แบนด์ที่เกิดขึ้นนี้จะมีจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับดัชนีของการมอดูเลต (f_m) ด้วย

4) การคีมอดูเลตเชิงความถี่ การคีมอดูเลตเชิงความถี่มีอยู่ด้วยกันหลายวิธีการมาก แต่วิธีที่ง่ายที่สุดวิธีหนึ่งก็คือ แนวคิดการจับเอากรอบของสัญญาณข่าวสารออกมาจากความถี่พาหะตามแบบคลื่นรูปสัญญาณแบบ S-curve ที่แสดงในรูปที่ 2.5



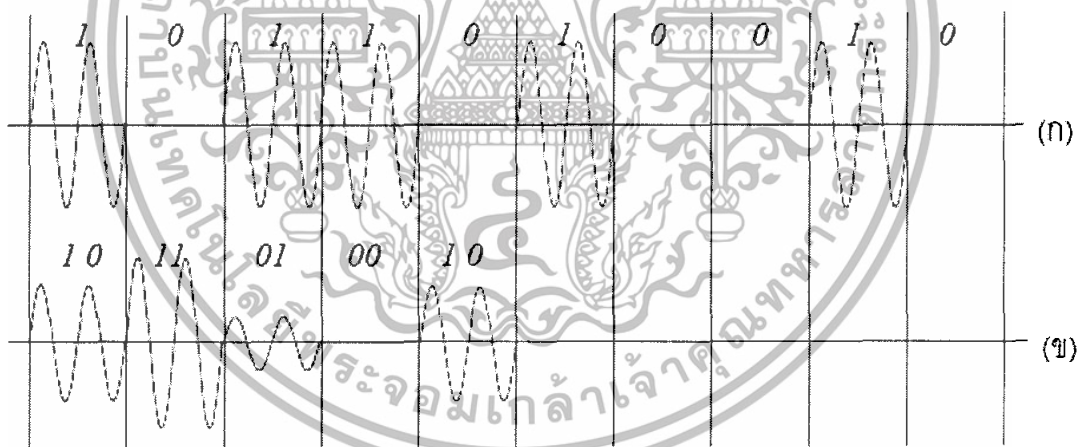
รูปที่ 2.5 กราฟการตอบสนองของความถี่ในวงจรภาครับรูป S-curve

รูปสัญญาณที่แสดงไว้ไม่ใช่สัญญาณข่าวสารที่ได้จากการคิ่มอดูเลตเชิงความถี่ แต่เป็นลักษณะการตอบสนองต่อสัญญาณที่เรียกกันว่า “S-curve” เมื่อสัญญาณ FM เข้ามาที่วงจรคิ่มอดูเลตเป็นช่วงที่มีความถี่ของสัญญาณสูงสัญญาณที่ได้จากการคิ่มอดูเลตจะได้สัญญาณที่เป็นบวกช่วงความถี่ของสัญญาณพาห้ที่มีความถี่ต่ำเมื่อคิ่มอดูเลตแล้วจะได้เอาต์พุตที่มีแรงดันเป็นลบ องค์ประกอบที่สำคัญของการคิ่มอดูเลตนั้นก็คือ จะต้องสร้างสัญญาณพาห้ให้ตรงกับสัญญาณพาห้ที่ส่งมาจากเครื่องส่งเพื่อให้ได้สัญญาณข่าวสารที่ส่งมาอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คิ่มนรูปสัญญาณข่าวสารจะรับสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตเชิงความถี่เข้ามาแล้วทำการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณพาห้ นั้น การมอดูเลตเชิงความถี่นั้นก็คือการคิ่มนรูปของสัญญาณข่าวสาร โดยจะคิ่มนรูปของสัญญาณข่าวสารในรูปของความชันซึ่งเป็นอัตราส่วนและความแตกต่างของสัญญาณออกมาซึ่งจะมีลักษณะเป็น S-curve ในการคิ่มอดูเลตเชิงความถี่ด้วยเฟสล็อกกลุ๊ป จึงเป็นอีกทางเลือกที่สามารถตอบสนองต่อ S-curve ได้ดี แต่จะต้องมีการเพิ่มส่วนของวงจรจูนความถี่ให้ตรงกับความถี่ของสัญญาณพาห้ที่ส่งมาเสียก่อน ส่วนประกอบต่างๆ ภายใน วงจรเฟสล็อกกลุ๊ป สามารถนำไปใช้เป็นคิ่มอดูเลตเชิงความถี่ และสร้างเป็นวงจรสังเคราะห์ความถี่ (frequency Synthesis) ได้

2.1.8 การมอดูเลตแบบดิจิตอล

1) การมอดูเลตทางขนาด (Amplitude-shift Keying:ASK) เป็นการเปลี่ยนขนาดของสัญญาณพาห้ ซึ่งการเปลี่ยนเป็นระดับที่แน่นอน เช่น การเปลี่ยนตามบิต ‘0’ ‘1’ จะได้สัญญาณที่แน่นอนสองระดับ เรียกว่าเป็นการมอดูเลตแบบ binary ASK ในกรณีที่ใช้ระดับสูงสุดแทนข้อมูล ‘1’ และระดับสัญญาณพาห้เป็นศูนย์เมื่อข้อมูลเป็น ‘0’ จะเรียกว่าเป็นการมอดูเลตแบบ on-off keying:OOK ดังแสดงในรูป 2.6a) ส่วนในรูป 2.6b) เป็นการเปลี่ยนระดับของสัญญาณพาห้เป็น 4

ระดับ ซึ่งจะช่วยให้สามารถแทนบิตข้อมูลได้สองบิตในแต่ละระดับของสัญญาณพาห์เรียกว่าเป็นการมอดูเลตแบบ M-array ASK โดยที่ $M = 4$ และจะพบว่าในรูปที่ 2.6a) กรณี binary ASK การเปลี่ยนแปลงสัญญาณพาห์แต่ละครั้ง หมายถึงมีบิตข้อมูลหนึ่งบิตถูกส่งออกไปหรือรับเข้ามา แต่ในกรณีรูป 2.6b) การเปลี่ยนแปลงสัญญาณพาห์แต่ละครั้งแสดงว่ามีบิตข้อมูลสองบิตถูกส่งออกไปหรือรับเข้ามาแสดงให้เห็นว่าจำนวนบิตข้อมูลที่เท่ากัน กรณี M-array ASK จะใช้จำนวนการเปลี่ยนแปลงสัญญาณพาห์น้อยกว่า หมายถึงการส่งได้เร็วขึ้น ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณพาห์นี้จะเรียกว่า บอด (baud) นิด เช่น กรณี binary ASK แต่ถ้าหนึ่งบิตเป็นอัตราการขมเป็นอัตราเร็วของสัญญาณ มีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วบิต คือ ถ้าหนึ่งสัญญาณคือหนึ่งบิต อัตราเร็วบิตเท่ากับบอดเปลี่ยนแปลงของสัญญาณพาห์ที่มีค่าเท่ากันทั้งกรณี binary ASK และ 4-array ASK ถ้าส่งสัญญาณนี้ไปในช่องสัญญาณหนึ่งจะพบว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณทั้งสองแทบจะไม่ต่างกัน แต่ได้อัตราบิตที่ต่างกัน ด้วยวิธีนี้จึงทำให้สามารถส่งข้อมูลที่มีอัตราบิตสูงไปในช่องสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์แคบได้

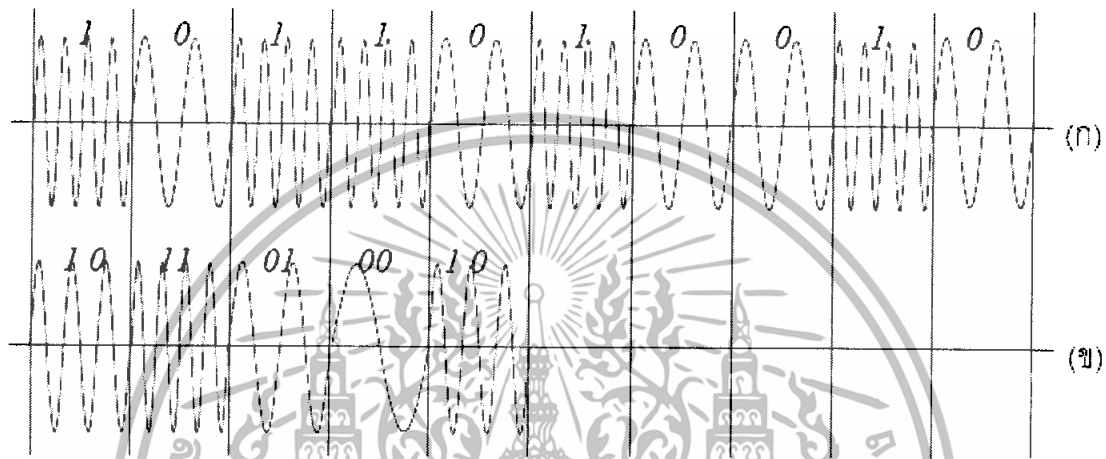


รูปที่ 2.6 สัญญาณ ASK (a) binary ASK (b) 4-Array ASK

2) การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency-shift Keying:FSK) เป็นการเปลี่ยนความถี่ของพาห์ทำนองเดียวกับ ASK การเปลี่ยนแปลงความถี่เนื่องจากการมอดูเลตด้วยสัญญาณดิจิทัลจะทำให้พาห์ของสัญญาณเปลี่ยนไปเป็นความถี่ที่แน่นอนในลักษณะของহারเลี่ยนความถี่ ซึ่งถ้าเป็นการมอดูเลตแบบ binary FSK คือมีคอมบินเนชันของบิตข้อมูล 0 กับ 1 ก็จะทำให้สัญญาณพาห์เปลี่ยนไปเป็นความถี่สองความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 2.7a) และเมื่อใช้หลายความถี่เพื่อแทนคอมบินเนชันของบิตข้อมูลที่มากขึ้น จะทำให้ความถี่ของพาห์เปลี่ยนไปหลายความถี่ ได้เป็นการมอดูเลตแบบ M-array FSK ดังรูปที่ 2.7b) ซึ่งเป็นกรณี 4-array FSK จะทำให้ได้อัตราบิตที่สูงขึ้นทำนองเดียวกับ M-array

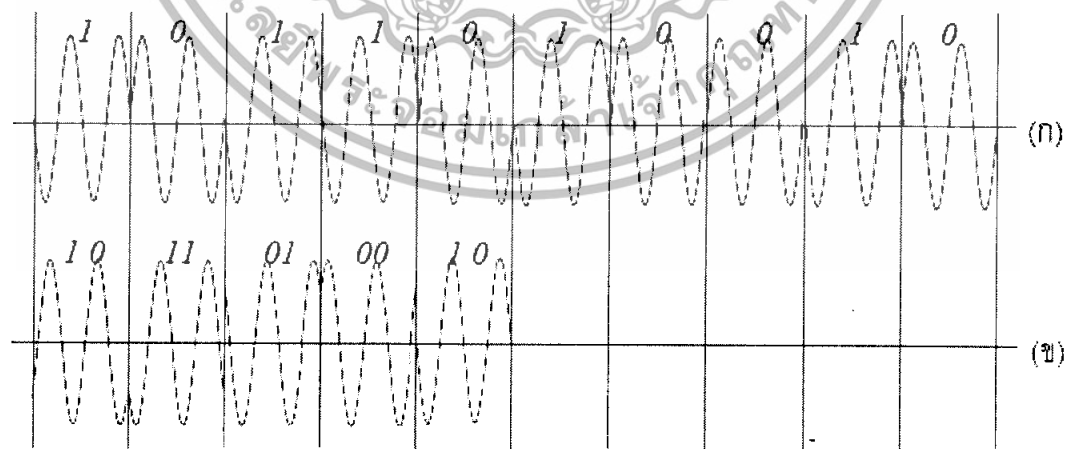
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASK แต่การใช้หลายความถี่ในการแทนคอมบินชันของบิตข้อมูลเช่นนี้ จะทำให้แบนด์วิธของสัญญาณที่มอดูเลตแล้วกว้างขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ต่างกับกรณีของ M-array ASK ที่ยังคงเป็นความถี่เดียวอยู่ ทำให้แบนด์วิธของสัญญาณที่มอดูเลตแล้วไม่กว้างขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การมอดูเลตแบบ FSK นี้จึงมักนิยมใช้กันในการส่งสัญญาณที่มีอัตราบิตไม่สูงมากนัก เช่น 800-1200 บิต/วินาที



รูปที่ 2.7 สัญญาณ FSK (a) binary FSK (b) 4-Array FSK

3) การมอดูเลตทางเฟส (Phase-shift Keying:PSK) เป็นการเปลี่ยนเฟสของสัญญาณพาห้ตามการเปลี่ยนบิตข้อมูล ในกรณีของ binary PSKเป็นการเปลี่ยนเฟสของพาห้ระหว่างสองเฟสโดยจะเป็นการกลับเฟสคือให้มีความแตกต่างของเฟสมากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2.8a) และเมื่อมอดูเลตแบบ M-array PSK จะได้สัญญาณในรูปที่ 2.8b) ซึ่งเป็น4-array PSK



รูปที่ 2.8 สัญญาณ PSK (a) binary PSK (b) 4-Array PSK

การมอดูเลตแบบ M-array PSK จะไม่ทำให้แบนด์วิธของสัญญาณที่มอดูเลตแล้วกว้างมากขึ้นเมื่อ M สูงขึ้นซึ่งดีกว่าการมอดูเลตแบบ M-array FSK ทำนองเดียวกับ M-array ASK ที่เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มจำนวน M จะทำให้ความแตกต่างของแต่ละสัญญาณที่แทนคอมบินเชันของบิตข้อมูลลดลง โอกาสที่จะเกิดการรับและตีความที่ผิดพลาดจะสูงขึ้น พิจารณารูปที่ 2.9 แสดง signal constellation ของสัญญาณ 8-array PSK และ 16-array PSK จะเห็นว่าความต่างเฟสของแต่ละสัญญาณในกรณีของ 16-array PSK จะน้อยกว่า ทำให้บริเวณที่ยอมให้มีการผิดพลาดของสัญญาณแต่ยังสามารถรับได้อย่างถูกต้องจะแคบกว่ากรณี ของ 4-array PSK มาก (ดูจากบริเวณที่แบ่งโดยเส้นประของแต่ละจุด)



รูปที่ 2.9 Signal constellation ของสัญญาณ PSK (a) 8-Array PSK (b) 16-Array PSK

นอกจากนี้ยังมีเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลอีกหลายรูปแบบ ในแต่ละแบบก็จะมีข้อดีที่แตกต่างกันไป การมอดูเลตที่นิยมใช้กันนอกจากที่ได้กล่าวไปแล้ว เช่น Quadrature Phase-shift Keying:QPSK, Minimum-shift Keying:MSK เป็นต้น

2.2 สภาพแวดล้อมของสายส่ง

เนื่องจากสายส่งของระบบไฟฟ้ากำลังถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งสัญญาณไฟฟ้ากำลังที่ความถี่ 50 Hz เท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงการนำมาส่งสัญญาณสื่อสารความถี่สูง ดังนั้นปัญหาสำคัญที่อาจเกิดขึ้นกับการส่งสัญญาณสื่อสารดังนี้

2.2.1 ปัญหาการลดทอนของสัญญาณสื่อสาร

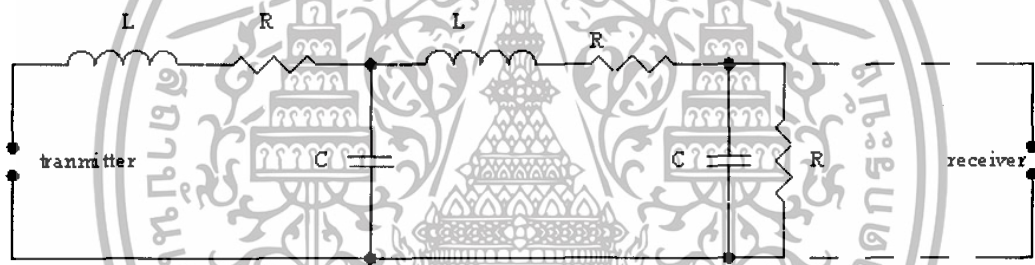
เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้า ซึ่งอิมพีแดนซ์จะเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า การที่จุดเชื่อมต่อของสายไฟฟ้ามีอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากันสัญญาณสื่อสารบางส่วนจะสะท้อนกลับทำให้เกิดการสะท้อน จากการติดตั้งสายไฟฟ้าหลายเส้นทางเนื่องมาจากระบบไฟฟ้ากำลังจะมีการส่งสัญญาณไฟฟ้าไปตามสายไฟฟ้าหลายเส้นทางและความยาวของสายไฟฟ้าก็จะต่างกัน สัญญาณสื่อสารที่ส่งไปในสายไฟฟ้าเส้นต่างๆ จะมีเฟสต่างกันหาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาบรรจบกันสัญญาณอาจถูกลดทอน หรืออาจหายไปที่จุดบรรจบนั้นมีสัญญาณสื่อสารจากสองเส้นทางที่มีเฟสต่างกัน 180 องศาพอดี

2.2.2 ปัญหาสัญญาณรบกวนต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลัง

ในระบบไฟฟ้ากำลังมีสัญญาณรบกวนมากมาย ที่สำคัญคือ สัญญาณรบกวนจากการทำงานของวงจร DIMMER ทำให้เกิดสไปรส์ขนาด 20V ถึง 50V ในช่วงความถี่ 100Hz ถึง 120Hz สัญญาณรบกวนจาก SWITCHING POWER SUPPLY จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในช่วงความถี่ 20kHz ถึง 1 MHz สัญญาณจากการส่งของ INTERCOM ซึ่งจะส่งคลื่นพาห์ในช่วงความถี่ 150kHz ถึง 500kHz และจากการทำงานของโพลีประเภทอินดักทีฟที่จะเกิดสัญญาณรบกวนอิมพัลส์ขึ้นในระบบสายส่งระบบไฟฟ้ากำลัง 1000 พิโคฟารัดต่อ 1000 ฟุต ขนาดความต้านทานในสายประมาณ 0.1-1 โอห์มต่อ 1000 ฟุต ความต้านทานในสายยังมีความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าอีกด้วย



รูปที่ 2.10 วงจรเสมือนสภาพแวดล้อมของสายไฟฟ้า

2.3 มาตรฐานที่ต้องคำนึงถึงในการสื่อสารบนสายไฟฟ้ากำลัง

มาตรฐาน EN50065-1 เป็นมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารบนสายไฟฟ้ากำลังมีข้อกำหนดดังนี้

2.3.1 การเลือกความถี่

มาตรฐาน EN50065-1 กำหนดความถี่ของการส่งสัญญาณสื่อสารบนสายไฟฟ้ากำลังไว้ที่ความถี่ 3kHz ถึง 148 kHz ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ช่วงความถี่ดังนี้

ตารางที่2.2 ช่วงความถี่ที่ใช้ได้ตามมาตรฐาน EN50065-1

Electricity suppliers	Home systems	Home system	Alarm & security
-----------------------	--------------	-------------	------------------

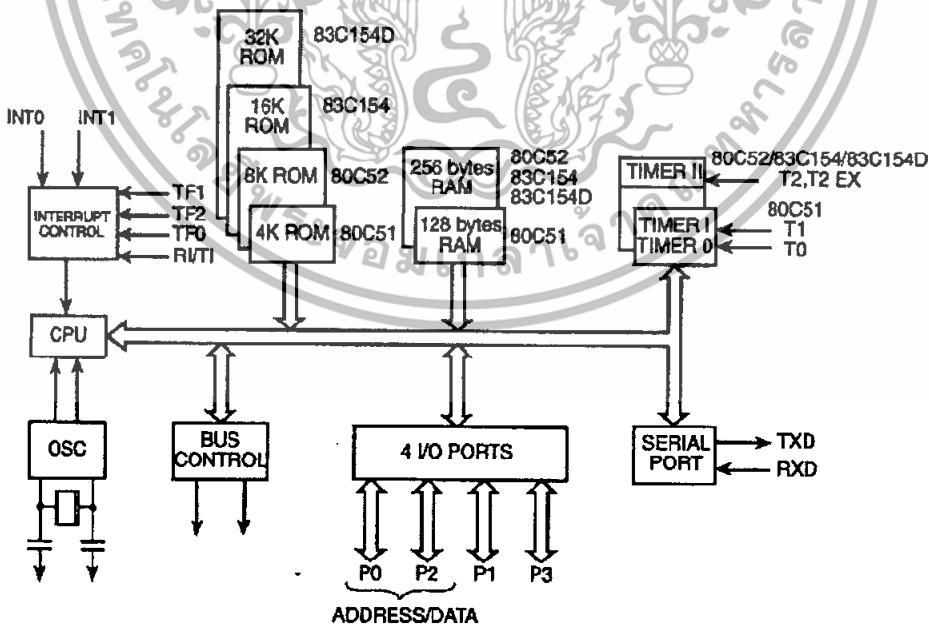
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 kHz – 95kHz	95kHz – 125kHz	125kHz – 140kHz	140kHz – 148kHz
	Free access	Access rule	

ในโครงงานนี้เลือกใช้ความถี่ 100 kHz ซึ่งอยู่ในช่วงที่ใช้ได้อย่างอิสระ

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ในระบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 จำเป็นต้องมีหน่วยความจำสำหรับบรรจุคำสั่งหรือโปรแกรมที่ผู้ใช้พัฒนาขึ้นเพื่อจัดเก็บไว้ภายในหน่วยความจำ ที่เรียกว่า หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) โดยอาจจะประกอบอยู่ภายในตัวไอซีของ8051 เอง หรือเป็นไอซีหน่วยความจำ EPROM หรือ ROM แยกออกต่างหากได้ ในกรณีหลังนี้จำเป็นจะต้องมีการใช้พอร์ตอินพุต/เอาต์พุต ทำหน้าที่เป็นบัสแอดเดรสและบัสข้อมูล เพื่อให้สามารถทำการเชื่อมต่อเข้ากับไอซีหน่วยความจำมาตรฐานทั่วไปได้ ดังนั้นในบทนี้นอกจากจะได้มีการอธิบายเกี่ยวกับเรื่องหน่วยความจำโปรแกรมของ 8051 แล้ว ยังจะได้อธิบายรวมไปถึงพื้นฐานการใช้งานของไอซีหน่วยความจำมาตรฐานแบบต่าง ๆ ด้วย เพื่อให้มีความเข้าใจการเชื่อมต่อสัญญาณเข้ากับขาสัญญาณควบคุมและบัสของ 8051 ที่ชัดเจนขึ้น



รูปที่ 2.11 แสดงสถาปัตยกรรมภายในของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของ Microcontroller ในตระกูล MCS-51 จะมีดังนี้

- มี Core CPU ที่เป็น 8-Bit และชุดคำสั่งที่เหมาะสมในงานควบคุม และสามารถประมวลผลทาง Logic กับข้อมูลในระดับ BIT ได้
- มีหน่วยความจำโปรแกรม 4K ภายใน และรองรับการใช้งานของหน่วยความจำโปรแกรมได้ถึง 64K
- มีหน่วยความจำข้อมูล (RAM) 128 Bytes ภายใน และรองรับการใช้งานของหน่วยความจำข้อมูลได้ถึง 64K
- มี Port ที่เป็นได้ทั้ง I / O ทั้งหมด 4 port และสามารถใช้งานได้ในระดับ BIT
- มีส่วน Timer / Counter ขนาด 16 Bit สองชุด สำหรับใช้ในการจับเวลา หรือนับจำนวน
- มี Full duplex UART สำหรับใช้ รับ/ส่ง ข้อมูลแบบอนุกรม
- รับ Interrupt ได้จาก 6 แหล่งกำเนิด โดยมี 5 ตำแหน่งของ ISR และการ Interrupt โดยสามารถจัดระดับความสำคัญได้ 2 ระดับ
- มีตัวกำเนิดความถี่ Clock ภายใน

2.4.2 หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมของ 8051 เป็นบริเวณหน่วยความจำ สำหรับเก็บข้อมูลและคำสั่งใช้งานต่าง ๆ ซึ่งแม้ว่าจะไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบ ข้อมูลเหล่านี้ก็ยังคงอยู่ไม่สูญหาย โครงสร้างของหน่วยความจำโปรแกรม มีลักษณะเช่นเดียวกับหน่วยความจำที่บรรจุอยู่ในไอซี หน่วยความจำประเภทต่าง ๆ เช่น หน่วยความจำแบบ ROM

(Read Only Memory) หรือ EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) เป็นต้น

8051 สามารถอ่านข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรมนี้ได้สูงสุดไม่เกิน 64 กิโลไบต์ และแยกประเภทของหน่วยความจำโปรแกรมเป็น 2 ลักษณะ ตามตำแหน่งของหน่วยความจำนั้น คือ หน่วยความจำภายใน (Internal Program Memory) ซึ่งเป็นหน่วยความจำ ROM หรือ EPROM ที่อยู่ภายในตัวไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เอง และหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External Program Memory) ซึ่งเป็นการใช้ไอซีหน่วยความจำมาทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำ โปรแกรมของระบบ

(1) หน่วยความจำโปรแกรมภายใน

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่าง ๆ ที่จัดอยู่ในตระกูล 8051 นี้ มีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมภายในแตกต่างกันออกไป เพื่อความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานลักษณะต่าง ๆ กัน ดังนี้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

8051 และ 8052 มีหน่วยความจำแบบ ROM ขนาด 4 และ 8 กิโลไบต์ ตามลำดับประกอบอยู่ในไอซี และมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในวงจรทางอุตสาหกรรมที่มีจำนวนการผลิตมาก เนื่องจากจะมีผลทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิตต่อหน่วยลดลงได้มาก

8751 มีหน่วยความจำแบบ EPROM ขนาด 4 กิโลไบต์อยู่ในไอซี ข้อมูลที่จัดเก็บอยู่ในนี้สามารถใช้แสงอัลตราไวโอเลตลบ และนำกลับไปบรรจุโปรแกรมใหม่ได้อีกครั้งหนึ่ง คล้ายคลึงกับไอซีหน่วยความจำ EPROM ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นี้เหมาะสมกับงานด้านอุตสาหกรรมที่มีจำนวนการผลิตคราวละไม่มากนัก หรืออาจจะเห็นงานประเภทต้นแบบภายในห้องปฏิบัติการ เป็นต้น

8031 และ 8032 ไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมอยู่ในตัวไอซีเลย ดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องอาศัยหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเสมอ ซึ่งการใช้งานลักษณะนี้จะมีผลทำให้ต้องเสียความสามารถบางประการ เกี่ยวกับพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไป เนื่องจากต้องนำไปใช้เป็นสัญญาณควบคุม เกี่ยวกับการจัดการติดต่อหน่วยความจำภายนอกแทน

(2) หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

หน่วยความจำภายนอกเป็นการใช้หน่วยความจำ EPROM (หรือ ROM) เชื่อมต่อเข้ากับระบบของ 8051 โดยอาจจะมีสาเหตุได้หลายประการ เช่น เป็นการทดลองทำระบบต้นแบบจำนวนน้อย หรืออาจต้องการลดต้นทุนการผลิต เพราะราคาของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบที่ไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในราคาจะต่ำกว่าแบบที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในมาก ในบางครั้งอาจจะมีสาเหตุจากความจำเป็นอื่น ๆ ที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ เช่น การที่หน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาดความจุไม่เพียงพอกับการเก็บโปรแกรม หรืออาจจะเป็นว่าการที่ใช้ไอซีหน่วยความจำจะทำให้สามารถจัดหาเครื่องมือ (Tools) ช่วยการพัฒนาระบบที่ใช้งานกันโดยแพร่หลายและราคาถูกได้ ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการพัฒนาระบบลงได้มาก

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่าง ๆ ของตระกูล 8051 นี้ สามารถขยายให้ใช้งานหน่วยความจำภายนอกได้ทั้งสิ้น โดยกรณีที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในอยู่แล้ว การอ้างตำแหน่งแอดเดรสที่มีทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมภายในและภายนอกนั้น จะต้องทำการพิจารณาระดับลอจิกของสัญญาณ EA(EA=External Access???) ในขณะนั้นด้วย

2.4.3 MCS-51 Family

MCS-51 นั้น ได้มีการออกแบบและผลิตออกมาในหลายๆ รูปแบบ ซึ่งมีความสามารถและส่วนประกอบภายในที่เพิ่มขึ้นมา แต่อย่างไรก็ดีคำสั่งต่างๆ ยังคงเหมือนกัน

ตารางที่ 2.3 แสดงความแตกต่างของ MCS-51 Family

Device	ROMLESS	ROM	RAM	16-Bit	Speed	Process
Name	Version	Bytes	Bytes	Timers	Up to	
80C51	80C31	4K	128	2	20MHz	CMOS
80C52	80C32	8K	256	3	20MHz	CMOS
83C154	83C154	16K	256	3	20MHz	CMOS
83C154D	-	32K	256	3	16MHz	CMOS
80C51μ	80C31μ	4K	128	2	42MHz	SCMOS
80C52μ	80C32μ	8K	256	3	42MHz	SCMOS
83C154μ	80C154μ	16K	256	3	42MHz	SCMOS
83C154Dμ	-	32K	256	3	36MHz	SCMOS
80C51PX	-	-	128/256	2/3	12MHz	CMOS

2.4.4 MCS-51 Pin



รูปที่ 2.12 แสดงขาต่างของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin	I / O / Z	หน้าที่ / การทำงาน
P0.0-P0.7	I / O / Z	Port 0 เป็น Open drain bidirectional I/O Port 8 Bit เมื่อใช้เป็น Output มันสามารถรับ (Sink) กระแสของ Input แบบ LS TTL ได้ 8 ตัว สำหรับ Port 0 Bit ที่ถูกส่งค่า '1' ออกมา จะทำให้ขาเป็น Float ซึ่งสามารถใช้งานเป็น High impedance Input ได้ นอกจากนี้ ยังทำหน้าที่เป็น Addr. Bus ส่วนของ Low byte (PCL) สลับกับ Data Bus ในกรณีที่มีการใช้งาน External Memory ในการนี้ Logic '1' จะถูกสร้างจาก Strong Internal pull-up และท้ายสุด Port 0 จะใช้ส่งค่าที่มีอยู่ใน Internal program memory ออกมาเพื่อการตรวจสอบ (Program verification) แต่จะต้องต่อ External pull-up ให้ด้วย
P1.0-P1.7	I / O	Port 1 เป็น Bidirectional I/O Port 8 Bit with Internal pull-up เมื่อใช้เป็น Output มันสามารถรับ/จ่าย (Sink/Source) กระแสของ Input แบบ LS TTL ได้ 4 ตัว สำหรับ Port 1 Bit ที่ถูกส่งค่า '1' ออกมา จะทำให้ขาเป็น High จาก Internal pull-up ซึ่งสามารถใช้งานเป็น Input ได้ และเมื่อถูกป้อนด้วย Logic '0' นั้น มันจะให้กระแสออกมาได้ ซึ่งกระแสจะไหลมาจาก Internal pull-up นั้นเอง (IIL, on data sheet) นอกจากนี้ สำหรับ 80C52, 83C154 and 83C154D ขา Port 1.0 และ P1.1 จะสามารถใช้งานเป็น T2, T2EX (T2: Timer 2 input, T2EX: Timer 2 "Capture" input)
P2.0-P2.7	I / O	Port 2 เป็น Bidirectional I/O Port 8 Bit with Internal pull-up เมื่อใช้เป็น Output มันสามารถรับ/จ่าย (Sink/Source) กระแสของ Input แบบ LS TTL ได้ 4 ตัว นอกจากนี้ Port 2 ยังทำหน้าที่เป็น Address Bus ในส่วนของ High byte (PCH) ในกรณีที่มีการใช้งาน External Memory ที่ใช้การอ้าง Address แบบ 16 Bit ในการนี้ Logic '1' จะถูกสร้างจาก Strong Internal pull-up
P3.0-P3.7	I / O	Port 3 เป็น Bidirectional I/O Port 8 Bit with Internal pull-up นอกจากนี้แล้ว ขา ต่างๆ ของ Port 3 จะมีการใช้งานเป็น Special feature ของ MCS-51 ดังต่อไปนี้
	I	P3.0: RXD (Serial input port)
	O	P3.1: TXD (Serial output port)
	I	P3.2: INT0 (External interrupt 0)

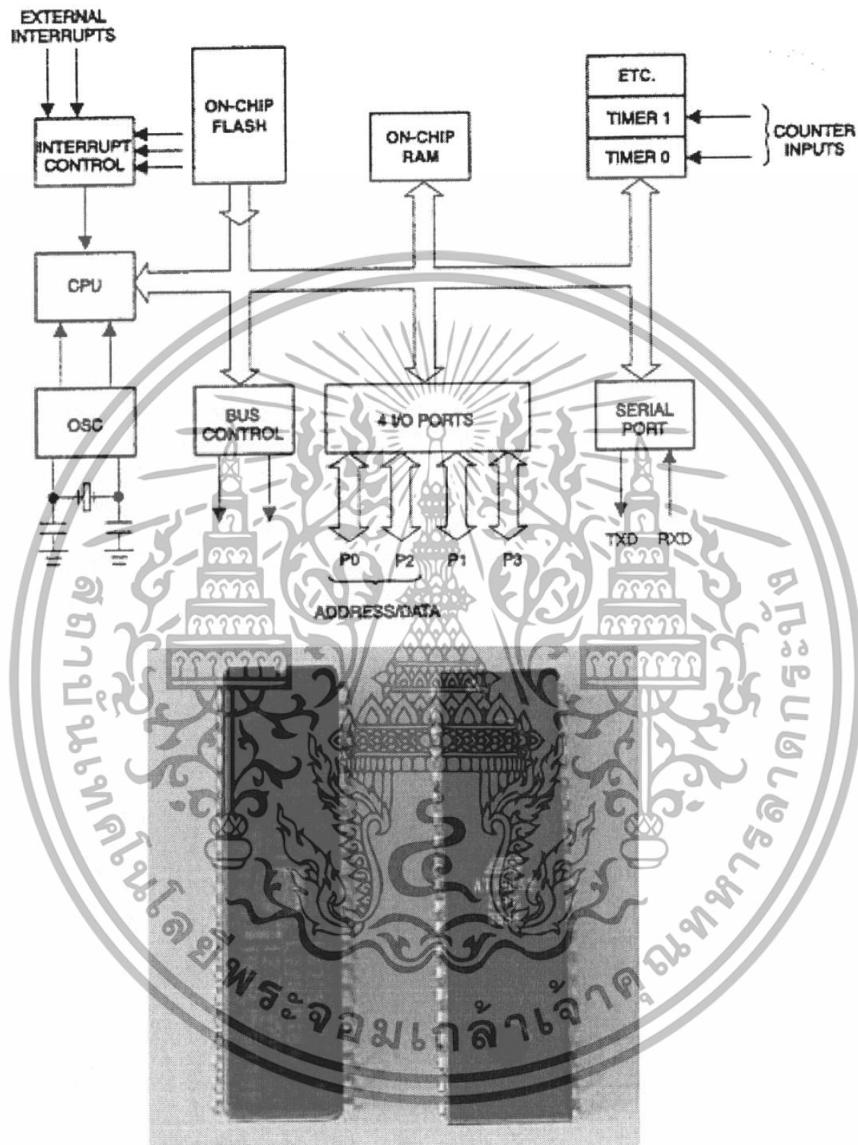
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	I	P3.3: INT1 (External interrupt 1)
	I	P3.4: T0 (Timer 0 external input)
	I	P3.5: T1 (Timer 1 external input)
	O	P3.6: WR (External data memory write strobe)
	O	P3.7: RD (External data memory read strobe)
RST	I	Reset เป็นสัญญาณป้อนให้กับ MCS เพื่อเป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ การทำ Reset นี้จะต้องทำทุกครั้งที่ย้ายไฟให้กับวงจร ในการ Reset สัญญาณ RST ต้องมีอยู่อย่างน้อย 2 Machine cycles จึงจะทำการ Reset ได้
ALE	O	Address Latch Enable เป็นสัญญาณ จะไป ทำให้ค่าของ PCL ถูกเก็บเข้าที่ LATCH ในระหว่างที่ ค่าของ PCL ออกมาที่ P0 สัญญาณ ALE นี้ จะมีออกมาตลอดเวลา (ไม่ว่าจะมีการใช้ External memory หรือไม่) เป็นความถี่ 1/6 ของสัญญาณ Clock ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นฐานเวลาให้กับวงจรภายนอกได้ แต่อย่างไรก็ดี ในกรณีที่เป็นการติดต่อกับ External data memory สัญญาณ ALE จะข้ามไปหนึ่ง ลูก
PSEN	O	Program Store Enable สัญญาณ PSEN ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้ในการ Fetch คำสั่งจาก External program memory นั้น จะไม่ทำงานเมื่อเป็นการ Fetch คำสั่งจาก Internal program memory สัญญาณ PSEN นี้จะมีเกิดขึ้น สองครั้ง ต่อหนึ่ง Machine cycle ขกเว้นในกรณีที่เป็นการติดต่อกับ External data memory สัญญาณ PSEN จะข้ามไป
EA	I	External Access โดยการต่อขาสัญญาณ EA เป็น 'High' การ Fetch คำสั่งที่ Address น้อยกว่า 0FFFh (4K สำหรับ 80C51) จะได้จาก Internal program memory และถ้าเป็น Address ตั้งแต่ 1000h ก็ จะเป็นการอ่านจาก External program memory ถ้าต่อขา EA เข้ากับ 'Low' การ Fetch คำสั่งทั้งหมดจะกระทำกับ External program memory
XTAL1	I	Input to inverting oscillator amplifier และใช้สำหรับการป้อน External clock
XTAL2	O	Output to inverting oscillator amplifier

ตารางที่ 2.4 แสดงหน้าที่ของขาต่างๆใน MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

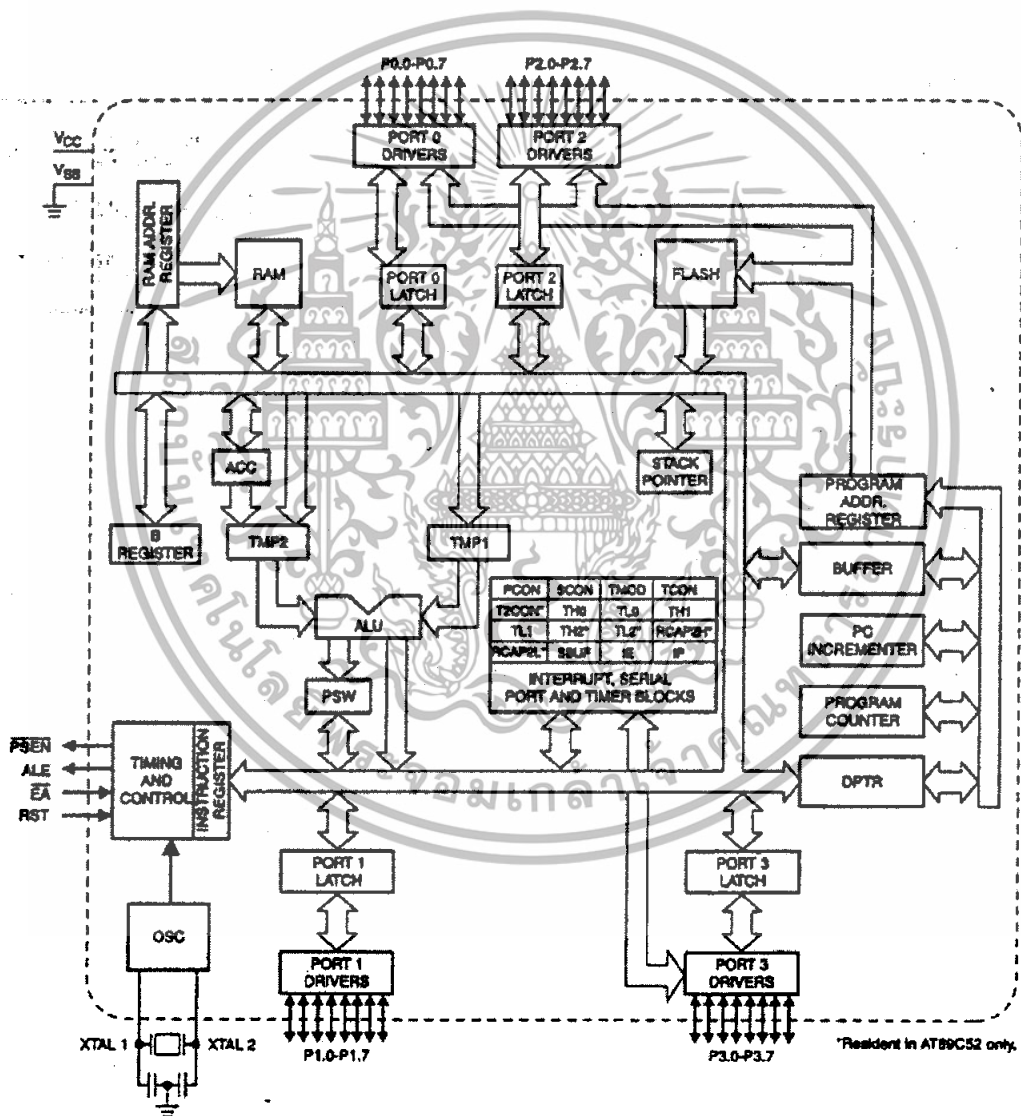
2.4.5 AT89C52



รูปที่ 2.13 ไดอะแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C52 และตัวอย่างชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ 87C51 มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นอีพรอมลบได้ด้วยแสงเหนือม่วงจึงต้องมีหน้าต่างให้แสงส่องลงบนชิป ส่วน 89C52 นั้นโปรแกรมสามารถลบได้ด้วยไฟตรง +12.5V จึงไม่ต้องมีหน้าต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

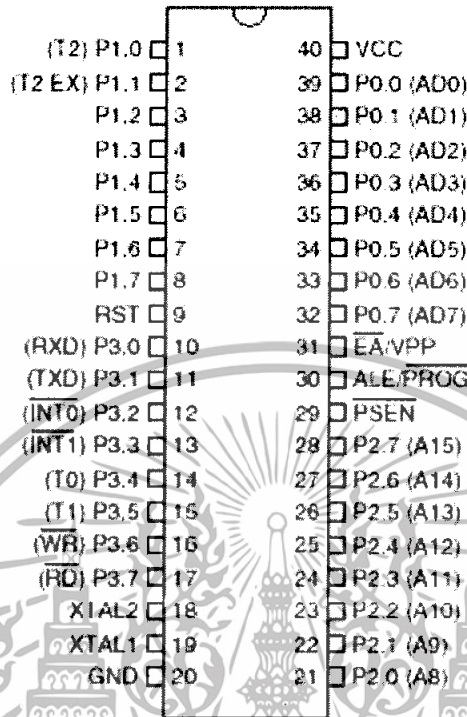
89C52 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ขนาด 8 บิต ชนิด CMOS มีหน่วยความจำ โปรแกรม ชนิดแฟลชขนาด 8 กิโลไบต์ สามารถลบได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้า ชุดคำสั่งและขาสัญญาณเข้ากันได้ กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์มาตรฐานในอุตสาหกรรม ออกแบบโดย Intel จุดเด่นของ 89C52 คือ มีหน่วยความจำโปรแกรมชนิด แฟลชขนาด 8 กิโลไบต์ หน่วยความจำข้อมูล 256 ไบต์ อินพุตเอาต์พุต 32 เส้น มีตัวตั้งเวลาและตัวนับขนาด 16 บิต สามตัว อินเทอร์รัพท์ 6 ตำแหน่ง มีวงจรรับส่งข้อมูลอนุกรมชนิดฟูลดูเพล็กซ์ และมีวงจรกำเนิดสัญญาณ นาฬิกา เป็นต้น



รูปที่ 2.14 โครงสร้างสถาปัตยกรรมภายใน 89C52

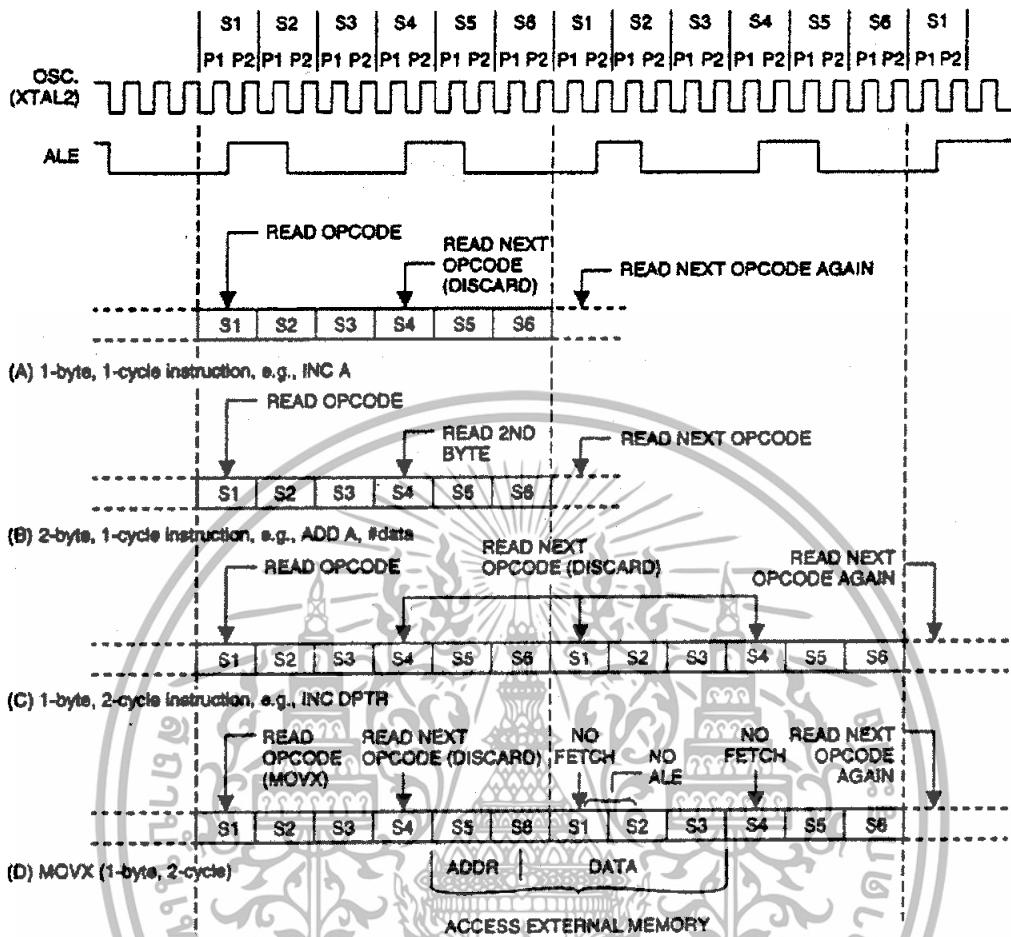
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PDIP



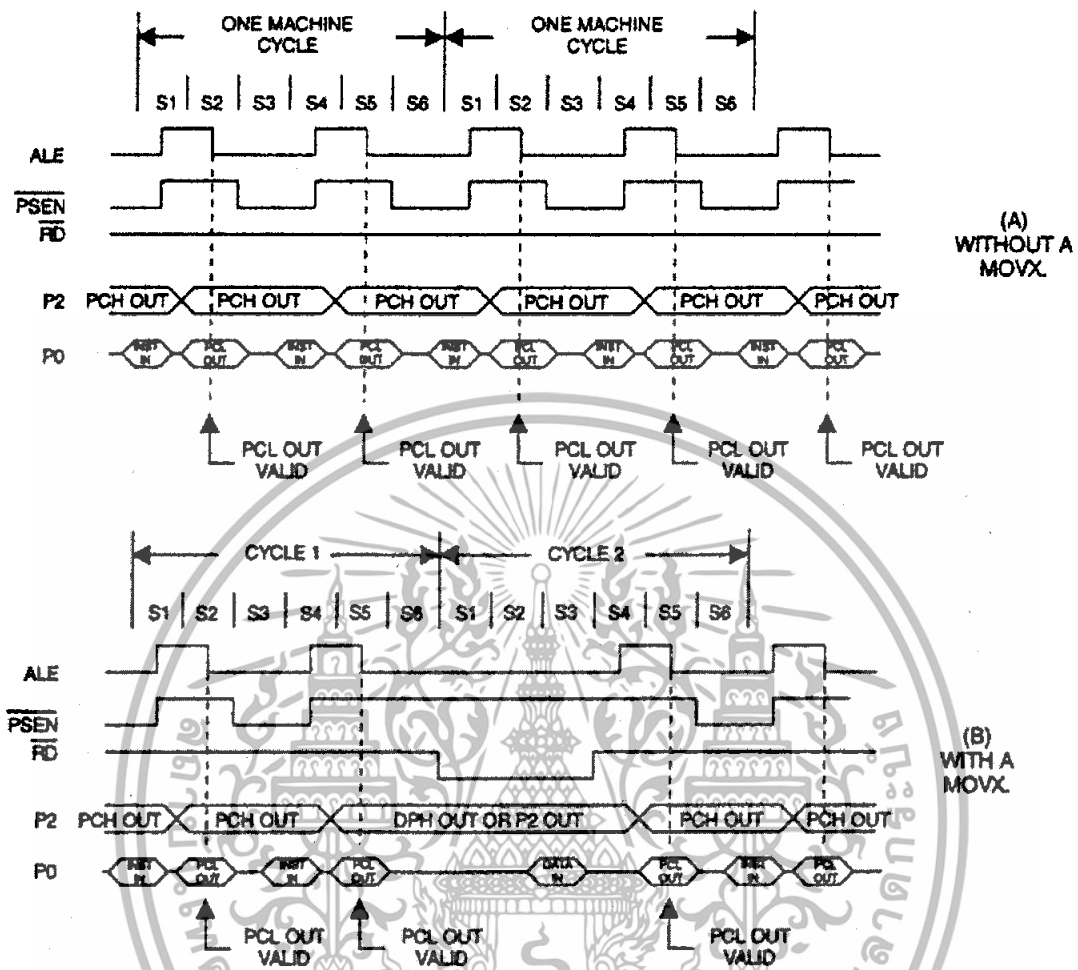
รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมสถาปัตยกรรมภายในและขาสัญญาณของตัวถังพลาสติก 40 ขา

ไมโครโปรเซสเซอร์ทำงานโดยการอ่านรหัสคำสั่งที่ประกอบขึ้นเป็นโปรแกรมบรรจุในหน่วยความจำโปรแกรม แล้วนำมาถอดรหัส กำเนิดสัญญาณต่างๆ ขึ้นกับว่าคำสั่งนั้นสั่งให้ CPU ทำอะไร กระบวนการดังกล่าวเรียกว่ากระบวนการ Fetch และ Execute รูปที่ 2.16 แสดงไดอะแกรมลำดับการทำงานของ CPU อ้างอิงกับสัญญาณนาฬิกา OSC หนึ่งรอบการทำงานของแต่ละคำสั่งเรียกว่า แมชชีนไซเคิล (Machine Cycle) 89C52 ใช้เวลาเท่ากับสัญญาณนาฬิกา 12 ลูก เช่นถ้าเราใช้ X-tal ความถี่เรโซแนนซ์ 12MHz เวลาหนึ่งแมชชีนไซเคิลจะมีค่าเท่ากับ $1\ \mu s$ คำสั่งที่มีขนาด 1 ไบต์ จะกินเวลา $1\ \mu s$ นั่นเอง รูปที่ 2.16ก แสดงไดอะแกรมผังเวลาลำดับการ Fetch และ Execute คำสั่งประเภทต่างๆ



รูปที่ 2.16 ไลอะแกรมผังเวลาลำดับการ Fetch และ Execute

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

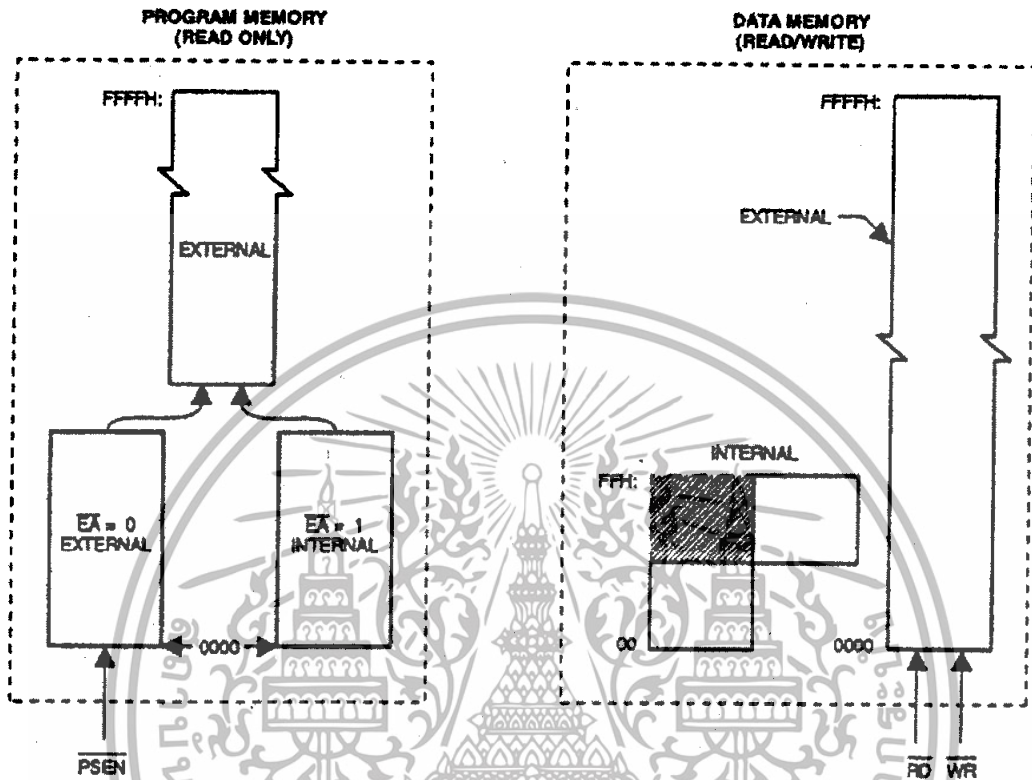


รูปที่ 2.16x โดอะแกรมผังเวลาเมื่อใช้คำสั่งติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก

หน่วยความจำโปรแกรม

89C52 มีการจัดหน่วยความจำ โดยแยกพื้นที่ของโปรแกรมและข้อมูลออกจากกัน กล่าวคือ หน่วยความจำโปรแกรมจะไม่สามารถเขียนข้อมูลลงได้ ใช้เป็นพื้นที่เก็บรหัสคำสั่ง ในขณะที่หน่วยความจำข้อมูลจะใช้เก็บตัวแปร และข้อมูลต่างๆ สามารถเขียนและอ่านได้ โครงสร้างของหน่วยความจำโปรแกรม แสดงดังรูปที่ 2.17 EA เป็นขาสัญญาณควบคุมการอ่านรหัสคำสั่ง ถ้าเราให้ EA ต่อเข้ากับ +Vcc ตำแหน่งที่ CPU เริ่มอ่านคำสั่งแรกจะเป็นตำแหน่ง 0000H โปรแกรมเคานเตอร์จะเพิ่มค่าเพื่ออ่านคำสั่งต่อไป จนถึงตำแหน่ง 1FFFH ซึ่งเป็นพื้นที่ของหน่วยความจำแฟลชขนาด 8 กิโลไบต์นั่นเอง กรณีที่โปรแกรมมีขนาดใหญ่กว่าหน่วยความจำโปรแกรมภายใน CPU จะอ่านรหัสคำสั่งที่เก็บอยู่ในพื้นที่ส่วนที่เหลือคือตำแหน่ง 2000H ถึง FFFFH แต่ถ้าเราให้ EA ต่อลงกราวด์หรือ

เป็นลอจิกศูนย์ CPU จะอ่านรหัสคำสั่งจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกตำแหน่ง 0000H ถึง FFFFH โดยใช้สัญญาณ PSEN ควบคุมการอ่าน



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล

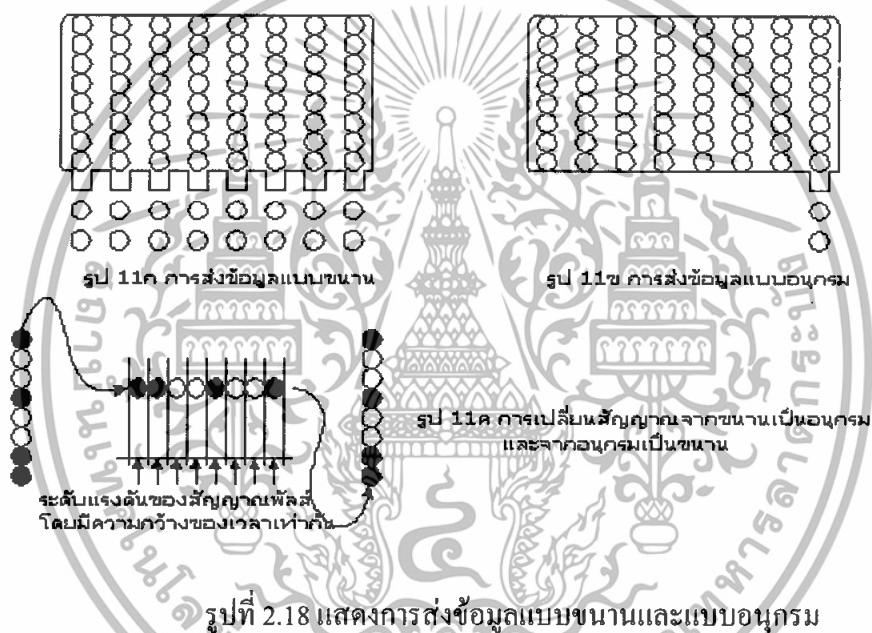
หน่วยความจำข้อมูล

89C52 แบ่งหน่วยความจำข้อมูลออกเป็นสองพื้นที่ คือ พื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลบนชิพ ขนาด 256 ไบต์ ตำแหน่ง 00H ถึง FFH และหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ตำแหน่ง 0000H ถึง FFFFH หรือมีขนาด 64 กิโลไบต์ การอ่านหน่วยความจำข้อมูลภายนอก CPU จะกำเนิดสัญญาณ RD ส่วนการเขียนข้อมูล CPU จะกำเนิดสัญญาณ WR พื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลบนชิพ 89C52 จะพิเศษกว่าหน่วยความจำ ข้อมูลภายนอก กล่าวคือ ตำแหน่ง 00H ถึง 1FH จะเป็นพื้นที่ของเรจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0, R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7 จำนวน 4 ชุด ตำแหน่ง 20H - 2FH เป็นพื้นที่ที่ใช้คำสั่งประมวลผลแบบบิต โดยเราสามารถระบุตำแหน่งข้อมูลเป็นบิตได้ มีค่าตำแหน่งบิตเป็น 00H - 7FH เช่นที่ตำแหน่งไบต์ 20H ภายในมีตำแหน่งบิตเป็น 00H - 07H เป็นต้น พื้นที่ตำแหน่ง 30H - 7FH เป็นพื้นที่ใช้งานทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

ข้อมูลในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เราใช้ศึกษาอยู่นี้ จะเป็นข้อมูลที่มีความยาวขนาด 1 ไบต์ หรือ 8 บิตซึ่งโดยปกติถ้าเราจะให้ส่งข้อมูลพร้อมๆกันไป 8 บิตจะเป็นวิธีการส่งข้อมูลแบบขนาน แสดงได้ดังรูป 11ก จะเป็นการส่งข้อมูลขนาด 8 บิตพร้อมกันไปยังอุปกรณ์ภายนอก และจะต้องมีจำนวนของสายสัญญาณจำนวน 8 เส้น เพื่อให้พอดีกับจำนวนของบิตที่ต้องการจะส่ง การส่งข้อมูลแบบขนานจึงทำให้มีการส่งข้อมูลที่มีความรวดเร็ว แต่ถ้าหากมีการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล ก็จะต้องใช้จำนวนของสาย และระยะทางของสายมากขึ้นจึงทำให้มีการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง

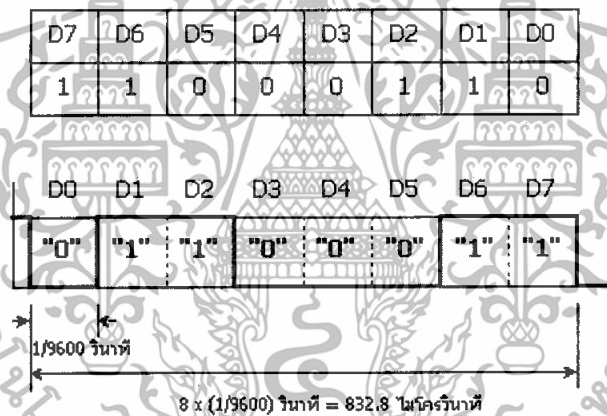


ดังนั้นการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมจึงถูกนำมาใช้ ในการสื่อสาร โดยจะใช้สายเพียงเส้นเดียว ในการส่งข้อมูล หรือรับข้อมูล (คำว่าเส้นเดียวหมายความว่าสายส่ง(TxD) 1 เส้น สายรับ(RxD) 1 เส้น และสายกราวด์ร่วม(Ground) 1 เส้น) นำมาใช้สื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอกในระยะทางที่ไกล ดังในรูป 1ข ถ้าหากต้องการส่งข้อมูลขนาด 8 บิต ก็จะทำให้การส่งข้อมูลออกไปทีละบิตเป็นลำดับไป จนกว่าจะครบจำนวนทั้ง 8 บิต ดังในรูป 1ค จะแสดงการเปลี่ยนข้อมูลแบบขนานให้เป็นแบบอนุกรม ข้อมูลจะถูกส่งไปตามสายสัญญาณทีละบิตตามจังหวะเวลาที่กำหนด เป็นความกว้างของพัลส์ โดยจังหวะเวลาที่กล่าวนี้จะต้องมีมาตรฐาน ของฝ่ายส่ง และฝ่ายรับด้วย ในการรับสัญญาณที่ส่งมาทีละบิต จะทำการตรวจสอบระดับแรงดันของสัญญาณที่เข้ามาเพื่อแปลงเป็นลอจิก

"1" หรือ "0" เมื่อรับข้อมูลเข้ามาครบใน 1 ไบต์ที่กำหนดไว้ ก็จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลแบบขนานเหมือนเดิม

จังหวะเวลาของการสื่อสารข้อมูลอนุกรม

ในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม เพื่อรับหรือส่งข้อมูล จะเป็นลักษณะของกลุ่มข้อมูล ดังนั้นอัตราความเร็วจะต้องมีค่าเท่ากันระหว่างการรับและการส่งโดยทั่วไปเราจะระบุความเร็วของจำนวนบิตในการรับและส่งข้อมูล เป็นจำนวนของบิตที่จะส่งใน 1 วินาที โดยเรียกความเร็วในการส่งข้อมูลว่า อัตราบอด(Baud Rate) ซึ่งมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที เช่น 300, 1,200, 2,400, 4,800 และ 9,600 บิตต่อวินาที ในรูป 12 ถ้าหากมีการส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 9600 บิตต่อวินาที จะใช้เวลาในการรับส่งข้อมูลหนึ่งบิตมีค่าเท่ากับ $1/9600$ หรือ 104.1 ไมโครวินาที และเวลาในการรับส่งข้อมูลทั้ง 8 บิตจะมีค่าเท่ากับ 8×104.1 หรือ 832.8 ไมโครวินาที



รูป 2.19 แสดงการส่งข้อมูลแบบอนุกรมด้วยความเร็ว 9600 บิตต่อวินาที

รูปแบบของการสื่อสารข้อมูลอนุกรม

การสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เป็นวิธีการรับและส่งข้อมูลโดยไม่ต้องอาศัยสัญญาณนาฬิกาส่งร่วมไปด้วย แต่จะใช้อัตราความเร็วของจำนวนข้อมูลต่อวินาที และจะทำการเพิ่มบิตข้อมูลบางอย่างร่วมไปกับการส่งข้อมูลจริง เพื่อจะได้ทำการตรวจสอบข้อมูลได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้นแสดงดังรูปที่ 13 ซึ่งประกอบด้วยกัน 4 ส่วนคือ

1 บิตเริ่มต้น (Start bit) จะมีขนาด 1 บิต จะเป็นระดับลอจิกตรงกันข้ามกับระดับลอจิกของสถานะสายสื่อสาร ขณะที่ยังไม่มีข้อมูลส่ง

2 บิตข้อมูล (Data bit) จะเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดก่อนหรือ บิต LSB ก่อน โดยข้อมูลที่

จะส่งอาจจะมีขนาด 5 ,6, 7 หรือ 8 บิตก็ได้

3 บิตแสดงสถานะเลขคู่หรือเลขคี่ (Parity bit) มีขนาด 1 บิตโดยบิตนี้จะนำไปต่อท้ายกับบิตข้อมูล ค่าของบิตนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนค่าของข้อมูลที่เป็น "1"

โดยเลือกการส่งข้อมูลเป็นแบบ พาริตีคู่ หรือ พาริตีคี่ ตัวอย่าง ถ้ากำหนดให้มีการส่งข้อมูลแบบพาริตีคู่ แต่ข้อมูลมีเลข 1 เป็นจำนวนคี่ ก็จะให้บิตพาริตีนี้เป็น "1"เพื่อจะได้จำนวนเลข "1" เป็นคู่นั่นเอง ทำนองเดียวกันทางด้านรับเองก็ต้องมีการตรวจสอบจำนวนข้อมูลที่ได้รับเข้ามาเป็น "1" รวมทั้งบิตพาริตี 1 บิต ถ้ามีค่า "1"เป็นจำนวนคู่ แสดงว่าข้อมูลที่ได้รับเข้ามาถูกต้อง

* สามารถกำหนดการรับและส่งข้อมูลเป็นแบบ NONE โดยไม่ต้องมีการตรวจสอบพาริตีบิตก็ได้

4 บิตสุดท้ายหรือบิตหยุด (Stop bit) เป็นการระบุถึงขอบเขตของการสิ้นสุดข้อมูล โดยจะทำให้ขาข้อมูลมีสถานะ ลอจิกเป็น "1" ซึ่งอาจมีจำนวนมากกว่า หนึ่งบิตก็ได้ เช่น 1 บิต 1.5 บิต หรือ 2 บิต



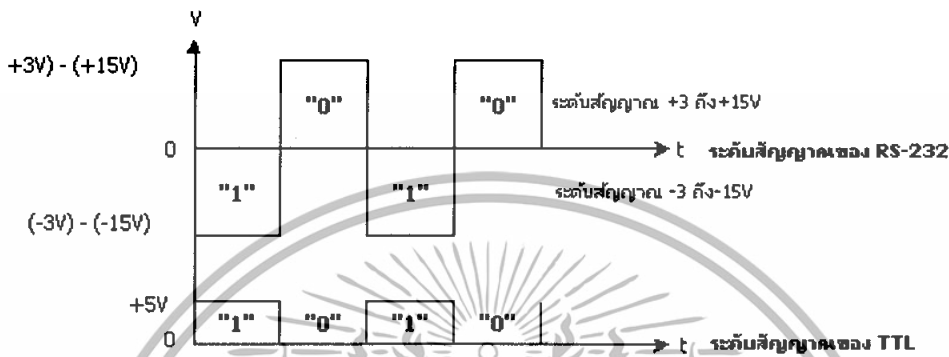
รูป 2.20 แสดงการส่งข้อมูลขนาด 8 บิตแบบอนุกรมพร้อมด้วย บิตเริ่มต้น,บิตพาริตี,บิตหยุด ด้วยความเร็ว 9600 บิตต่อวินาที

การเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมมาตรฐาน RS-232

การกำหนดมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม EIA RS-232 (x) เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรม โดยคณะกรรมการสมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association) ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบ อะซิงโครนัส 2 ทิศทาง เพื่อให้มีการใช้งาน ในการเชื่อมต่อที่สอดคล้องกัน ระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่างๆ การรับส่งสัญญาณจะกำหนดความยาวสูงสุดไว้ที่ไม่เกิน 50 ฟุตโดยมีระดับ สัญญาณตั้งแต่ 3 โวลต์ จนถึง 15 โวลต์ สำหรับลอจิก "0" และมีระดับแรงดันที่-3 โวลต์ จนถึง-15 โวลต์ สำหรับลอจิก"1"ดังแสดงในรูป4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

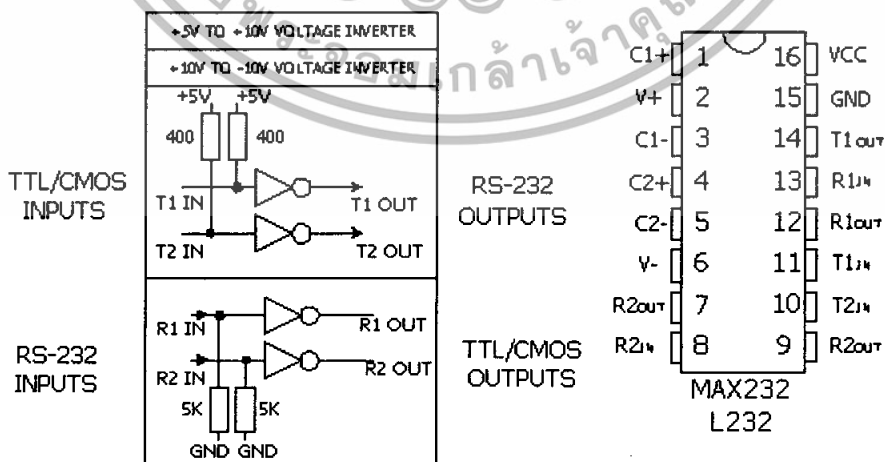
ดังนั้นสังเกตได้ว่าจะมีระดับแรงดันที่ใช้ในสถานะลอจิก "0" และ ลอจิก "1" แตกต่างออกไปจากระบบไอซีดิจิทัลทั่วไป การต่อใช้งานจึงต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับแรงดันจาก 0 - 5 โวลต์ จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้เป็นระดับแรงดันที่สูงกว่า +3 หรือต่ำกว่า - 3 โดยจะมีไอซีสำเร็จรูปพร้อมใช้งาน หรืออาจจะต่อวงจรจากทรานซิสเตอร์ได้

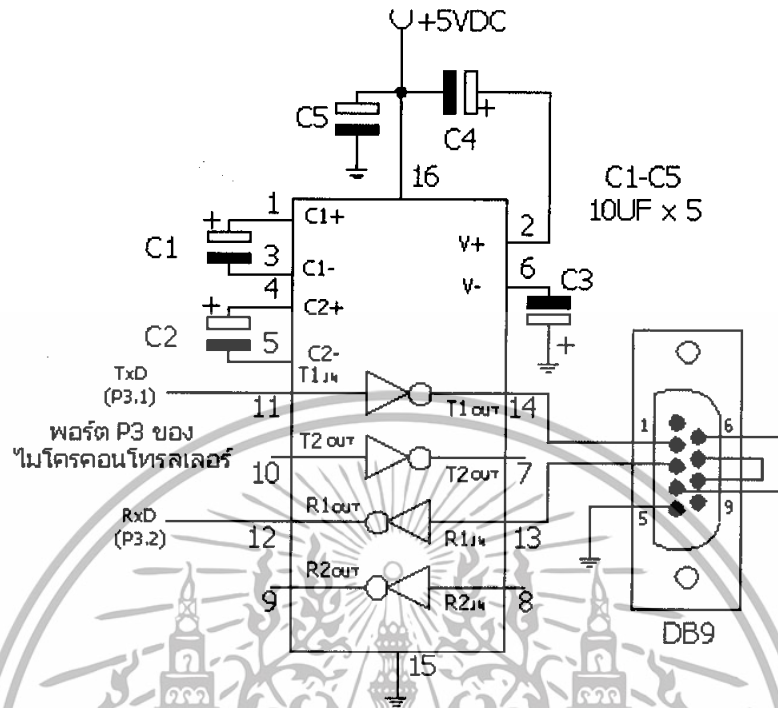


รูปที่ 2.21 แสดงระดับแรงดันสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS-232 กับ TTL ในสถานะลอจิก "1" และ "0"

ไอซี MAX232, L232

ไอซี MAX232, L232 เป็นไอซีที่แปลงระดับสัญญาณจากระดับ TTL ไปเป็นระดับของ RS-232 และในทำนองเดียวกันก็รับระดับสัญญาณจาก RS-232 เพื่อแปลงเป็นระดับสัญญาณจากระดับ TTL ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

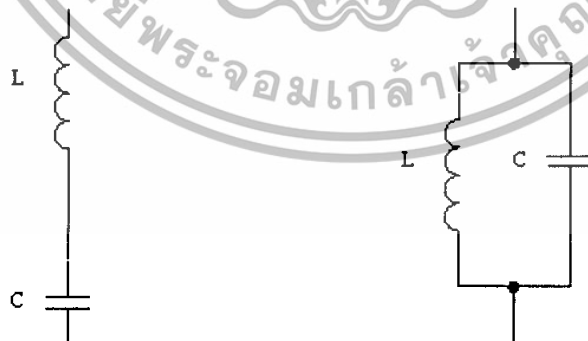




รูปที่ 2.22 แสดงตำแหน่งขาของไอซี MAX232, L232 และการต่อใช้งาน

2.6 วงจรเรโซแนนซ์

เป็นวงจรที่ต่อรวมกันระหว่างตัวเก็บประจุกับขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อวัตถุประสงค์ให้วงจรเรโซแนนซ์เลือกความถี่



(ก) แบบอนุกรม

(ข) แบบขนาน

รูปที่ 2.23 วงจรเรโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเรโซแนนซ์จะยอมให้ความถี่ค่าหนึ่งผ่านได้ดี เรียกว่าความถี่เรโซแนนซ์ ที่ความถี่เรโซแนนซ์ วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมจะมีกระแสผ่านวงจรมากที่สุดโดยมีแรงดันตกคร่อมต่ำที่สุด ส่วนวงจรแบบขนานกระแสจะไหลผ่านน้อยโดยมีแรงดันตกคร่อมมากที่สุด ซึ่งจะคำนวณหาค่าความถี่เรโซแนนซ์ได้จาก

$$f_r = 1/(2\pi\sqrt{LC}) \quad (2.7)$$

f_r เป็นค่าความถี่เรโซแนนซ์ (Hz)

L เป็นค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด(H)

C เป็นค่าความจุของตัวเก็บประจุ(F)

สมการนี้สามารถใช้คำนวณได้ทั้งแบบขนานและแบบอนุกรม

2.7 วงจร Envelope detector

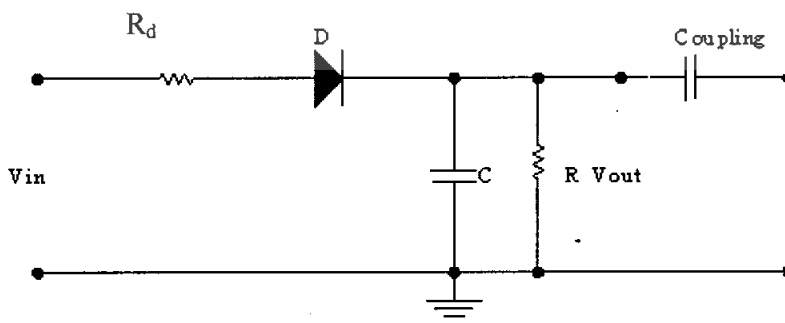
เป็นวงจรที่ทำการตัดความถี่คลื่นพาห์(100kHz) ออกเหลือแต่กรอบทางบวก

วงจรไดโอด Envelope detector เป็นวงจรดีมอดเอเอ็มแบบที่ง่ายที่สุด และถูกเลือกมาใช้งานมากที่สุด คลื่นเอเอ็มจะถูกจ่ายให้กับวงจรเรียงกระแส C จะถูกประจุจนถึงค่าสูงสุดของคลื่นเอเอ็มทุกๆ คาบของคลื่น โดยการเลือกค่าคงที่ RC ที่เหมาะสม สัญญาณที่ทางออกจะได้กรอบของคลื่นเอเอ็ม โดยมีแรงดันกระแสเฟืองเล็กน้อย โดยที่ค่า RC มีค่าประมาณ

$$RC = 1/(2\pi f_{mMAX}) \quad (2.8)$$

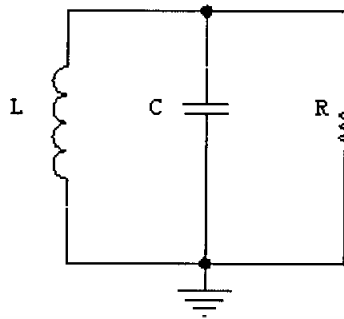
ในกรณีที่ $\omega_c \gg \omega_{mMAX}$ แรงดันกระแสเฟืองจะมีขนาดเล็กมากจนแทบจะมองไม่เห็น

การที่ค่า RC มีค่ามากเกินไป จะทำให้เกิดความเพี้ยนที่เรียกว่า Diagonal Clipping และถ้า RC มีค่าต่ำ v_o จะมีกระแสเฟืองสูง วงจรไดโอด Envelope detector จะทำงานได้ดี เมื่อขนาดของคลื่นที่จ่ายให้กับวงจรมีขนาดใหญ่



รูปที่ 2.24 วงจรไดโอด Envelope detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 วงจรเทงก์

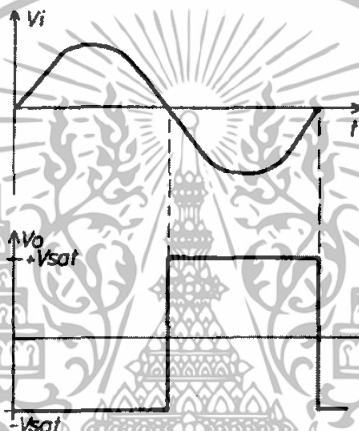
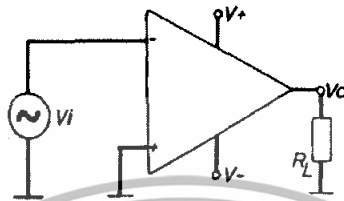
2.8 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator)

วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator) คืออุปกรณ์เอาต์พุตลอจิกอินพุตผลต่าง อัตราขยายสูง (high-gain, differential input-logic output device) ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับการทำงานเป็นคูลูปที่มีเวลาประวิงต่ำสุด และถึงแม้ว่าวงจรเปรียบเทียบแบบต่างๆจะถูกนำไปใช้เป็นอุปกรณ์หลักก็ตาม แต่การใช้ทั้งหมดขึ้นอยู่กับหน้าที่การถ่ายโอนพื้นฐาน การทำงานของอุปกรณ์เป็นเพียงการเปลี่ยนแรงดันเอาต์พุต โดยขึ้นอยู่กับว่าสัญญาณอินพุตอยู่เหนือกว่าหรือต่ำกว่าแรงดันจุดเริ่มเปลี่ยน

- วงจรเปรียบเทียบแรงดันกับฮิสเทอรีซิส (Comparator With Hysteresis)

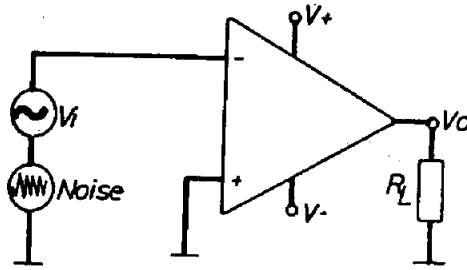
ถ้าหากนำเอาวงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) มาใช้งานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนมากๆ จะพบว่าเอาต์พุตที่ออกนั้นจะได้ค่าที่ไม่สมบูรณ์ โดยไม่เหมือนกับวงจรในรูปที่ 2.11 ซึ่งจะเป็นวงจรขยายแบบ ZERO CROSSING ที่ป้อนด้วยสัญญาณอินพุตรูปขายนับบริสุทธิและไม่มีสัญญาณรบกวนปนอยู่ จะสังเกตว่า ณ จุดที่แรงดันรูปขายนับบริสุทธิที่ตัดกับแกนเวลา t หรือจุดที่อินพุต V_i รูปขายนับบริสุทธิ (Polarity) แรงดันจะได้แค่เพียงจุดเดียวเท่านั้น ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตที่ปรากฏขึ้นเพื่อเปลี่ยนสถานะ จึงมีได้แค่สถานะเดียวเช่นกันซึ่งแตกต่างกับวงจรที่แสดงตามรูปที่ 2.12 คือแทนที่อินพุต V_i จะเป็นรูปขายนับบริสุทธิ แต่กลับมีสัญญาณรบกวนเล็กๆ ซ้อนปนอยู่บนรูปขายนับบริสุทธิที่หนึ่ง ดังนั้น ณ จุดที่ตัดกับแกนเวลา t ของแรงดันอินพุต V_i จึงตัดได้หลายจุดและได้เอาต์พุต V_o ที่ออกมาเปลี่ยนสถานะเท่ากับจำนวนครั้งที่อินพุตตัดกับแกนเวลา t นั้นด้วยถึงแม้ว่าการนำไปใช้งานตรงบริเวณจุดที่แรงดันอินพุต V_i ตัดกับแกนเวลา t เราต้องการให้เอาต์พุต V_o เปลี่ยนสถานะเพียงครั้งเดียวเท่านั้น แต่ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้อธิบายตามรูปวงจรที่ 2.12 ทำให้

เกิดปัญหามาก โดยเฉพาะในเรื่องการควบคุมโพลด (สำหรับการออกแบบแหล่งจ่ายไฟตรง ใช้ควบคุมรีเลย์)



รูปที่ 2.26 แสดงสัญญาณชายนับรีเลย์ที่ป้อนเข้ากับวงจรขยายแบบ ZERO CROSSING พร้อมกับเอาต์พุตที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

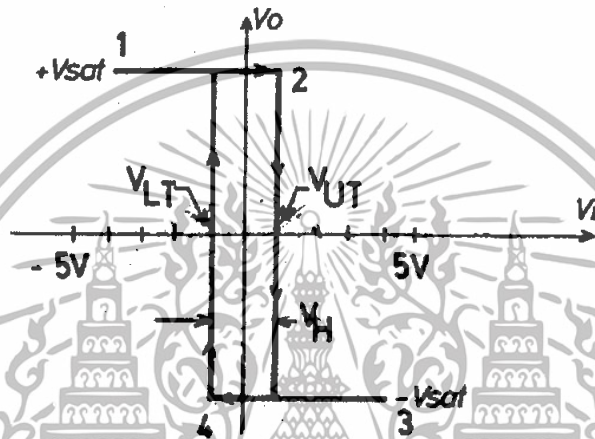


รูปที่ 2.27 วงจรขยาย ZERO CROSSING ที่อินพุตมีสัญญาณรบกวนปนอยู่

เมื่อลองพิจารณาสัญญาณที่รบกวนซึ่งจะเปรียบเสมือนว่าเกิดมาจากแหล่งกำเนิดซึ่งต่ออนุกรมกับแหล่งกำเนิดสัญญาณอินพุต V_i รูปชาวยน์ดังรูปที่ 2.12 และจะเป็นเรื่องยากมากที่จะลดหรือตัดเอาสัญญาณนี้ออกไป นอกจากนี้จะต้องเลือกหาเอาออปแอมป์ที่มีผลต่อการรบกวนของสัญญาณนี้น้อย แต่ถึงอย่างไรก็ตามยังมีอีกวิธีหนึ่งที่ย่างและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย คือด้วยการเพิ่มฮิสเตอร์รีซิสของวงจร

- ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis)

จากการที่เอาต์พุต V_o ของวงจรเปรียบเทียบกับแรงดัน จะเปลี่ยนสถานะจาก $+V_{sat}$ เป็น $-V_{sat}$ ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันอินพุต $V_i > V_{UT}$ และจะกลับสู่สถานะเดิมคือ $+V_{sat}$ เมื่อแรงดันอินพุต $V_i < V_{LT}$ ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวนี้เราเรียกว่า ฮิสเทอรีซิส ดังแสดงให้เห็นด้วยกราฟคุณสมบัติของ Voltage Transfer ตามรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.28 กราฟคุณสมบัติของ Voltage Transfer หรือ Hysteresis ของวงจรขยายแบบ ZERO CROSSING

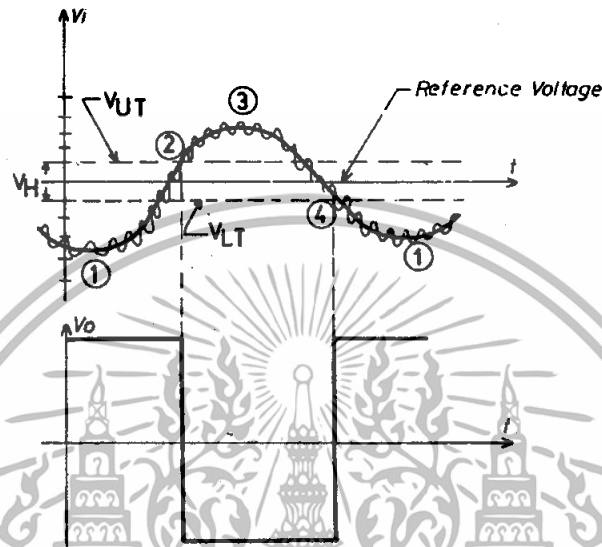
จะสังเกตเห็นว่าในขณะที่แรงดันอินพุต V_i มีค่าเพิ่มขึ้น (จากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2) เอาต์พุต V_o ก็จะเปลี่ยนสถานะจาก $+V_{sat}$ เป็น $-V_{sat}$ ณ. จุดที่แรงดันอินพุตมีค่าเท่ากับ V_{UT} และเมื่อแรงดันอินพุต V_i ลดลง (จากจุดที่ 3 ไปยังจุดที่ 4) เอาต์พุต V_o ก็จะเปลี่ยนสถานะจาก $-V_{sat}$ เป็น $+V_{sat}$ ทันที ณ.จุดที่แรงดันอินพุตมีค่าเท่ากับ V_{LT} ซึ่งย่านความกว้างของแรงดันอินพุตอ้างอิงจาก V_{LT} ถึง V_{UT} นั้นจะมีชื่อเรียกว่าแรงดันฮิสเทอรีซิส (V_H) ดังมีค่าตามสมการข้างล่างนี้

$$V_H = V_{UT} - V_{LT} \quad (2.9)$$

- ถ้าหากนำเอาวงจรเปรียบเทียบกับแรงดัน ตามรูปที่ 2.12 มาประยุกต์ใช้กับค่าอินพุตที่ได้ตามรูปที่ 2.13 ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าเอาต์พุต V_o จะเปลี่ยนสถานะเมื่อแรงดันอินพุต V_i มีค่าน้อยกว่า V_{LT} หรือมากกว่า V_{UT} (จุดที่แรงดันอินพุต V_i ตัดกับระดับแรงดัน V_{LT} กับ V_{UT}) และจุดดังกล่าวนี้เอง สัญญาณรบกวนที่เกาะปนกับสัญญาณอินพุตรูปไซน์จะถูกดึงให้มีค่าความชันลดลงหรือลาด

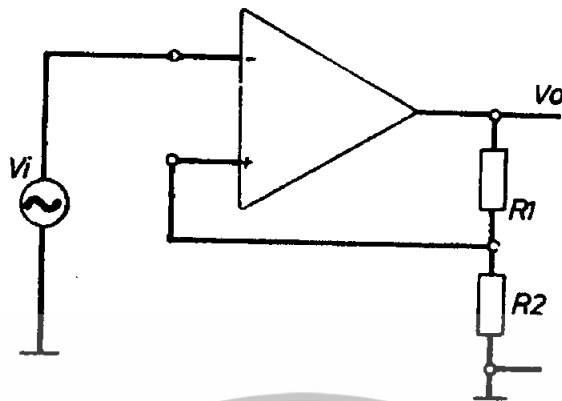
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้นดังแสดงตามรูปที่ 2.14 ณ จุด 2 กับ 4 ผลอันนี้จึงทำให้สัญญาณรบกวนไม่สามารถจะตัดกับ
แกนระดับแรงดันอ้างอิง V_{LT} กับ V_{UT} ได้จึงทำให้เอาต์พุต V_o มีการเปลี่ยนสถานะได้เพียงครั้งเดียว
เท่านั้น

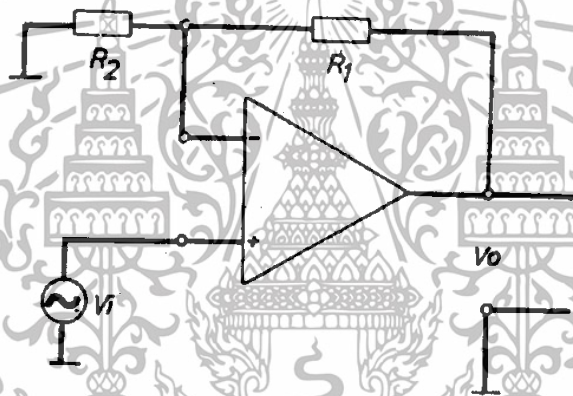


รูปที่ 2.29 แสดงสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุต จากการนำเอาฮิสเตอร์รีซิสมาประยุกต์
เพื่อลดสัญญาณรบกวน

วิธีที่ง่ายที่สุดในการป้อนให้แรงดันอินพุตเป็นแบบฮิสเตอร์รีซิส กับวงจรเปรียบเทียบ
แรงดัน (Comparator) ก็คือการแบ่งแรงดันส่วนหนึ่งจากเอาต์พุตแล้วนำมาป้อนเข้ากับอินพุต โดย
จะต่อแบบโดยตรง หรือผ่านค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุก่อนก็ได้ ซึ่งถ้าหากนำเอาแรงดันที่
ป้อนกลับนั้นไปต่อเข้ากับอินพุตบวกของออปแอมป์ ก็จะเรียกว่าการป้อนกลับแบบบวก (Positive
Feedback) หรือถ้าหากนำเอาแรงดันที่ป้อนกลับนั้นไปต่อเข้ากับอินพุตลบของออปแอมป์ ก็จะ
เรียกว่าการป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback)



(a) การป้อนกลับแบบบวก



(b) การป้อนกลับแบบลบ

รูปที่ 2.30 วงจรป้อนกลับ

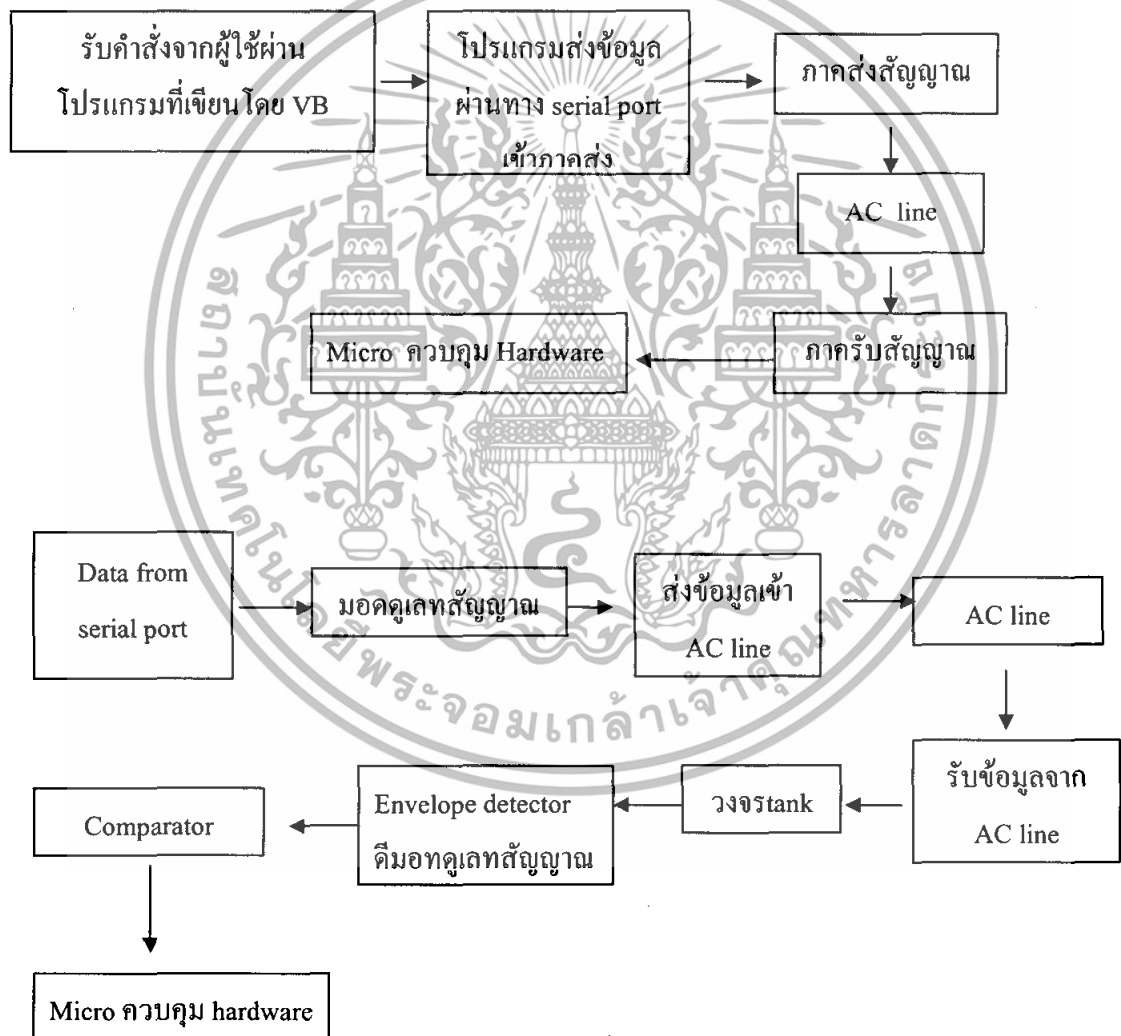
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

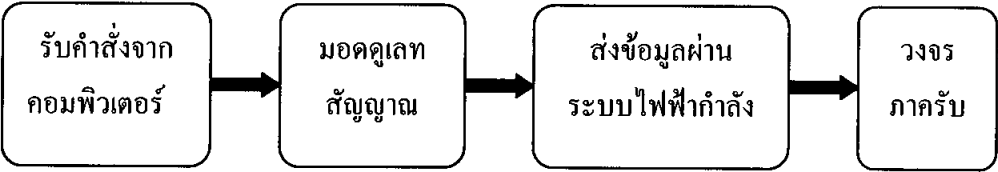
หลักการทำงานโดยรวมของระบบ คือ เครื่องคอมพิวเตอร์รับคำสั่งจากผู้ใช้งานทางคีย์บอร์ด แล้วส่งคำสั่งที่ได้แก่ Master Module เมื่อได้รับคำสั่ง Master Module จะแปลงคำสั่งเป็นข้อมูลแล้วส่งผ่านระบบไฟฟ้ากำลังสู่ Slave Module เพื่อนำข้อมูลไปควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า

3.1 บล็อกไดอะแกรมโดยรวมของระบบ



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมโดยรวมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภาคส่ง



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภาครับ

ในการออกแบบวงจรแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

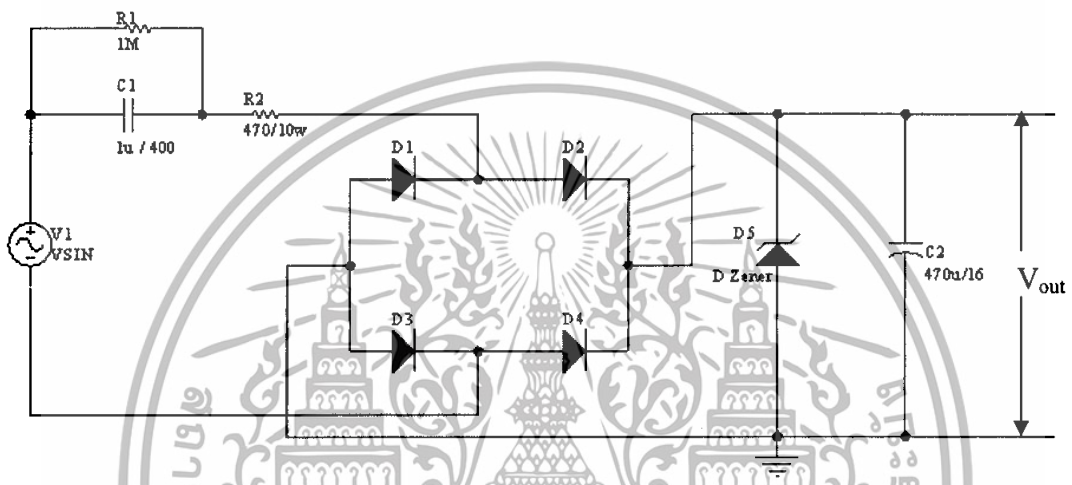
- 1) ตัวส่งสัญญาณ
- 2) ตัวรับสัญญาณ

3.2 ตัวส่งสัญญาณ ทำหน้าที่รับข้อมูลดิจิทัลแล้วทำการมอดคูเลตสัญญาณแบบ ASK (Amplitude Shift Keying) ส่งผ่านตัวกลาง (สายไฟฟ้า) ไปยังตัวรับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

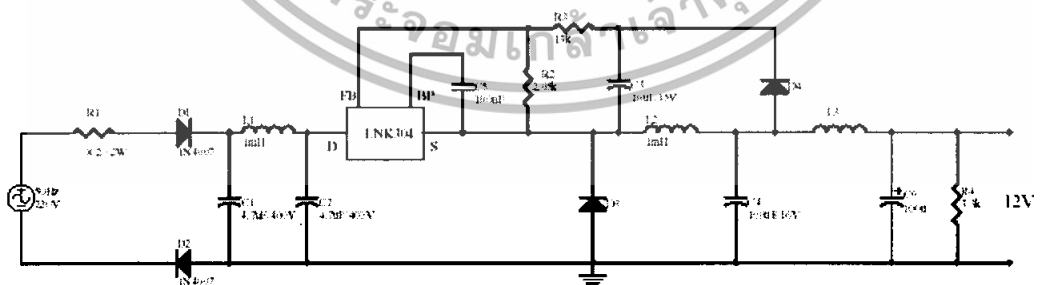
ตัวส่งสัญญาณประกอบด้วยวงจรต่างๆดังต่อไปนี้

3.2.1) ชุด Power Supply เป็นชุดจ่ายไฟกระแสตรง 5 โวลต์ ใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจร โดยการใช้การคับปลิ่ง C กับ สายไฟบ้าน (AC line 220V_{AC} 50Hz) ผ่านวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบ บริดจ์ (Full Wave Bridge Rectifier) เข้าสู่วงจรกรองลดแรงดันกระเพื่อม (Ripple Filter) และวงจร รักษาระดับแรงดันคงที่ (Voltage Regulator) โดยใช้ซีเนอริไดโอดในการรักษาระดับแรงดัน



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรชุด Power Supply เดิม

นอกจากวงจร Power Supply ชุดเดิมแล้ว ยังมีวงจร supply แบบ Buck Converter โดยใช้ Off-Line Switcher IC (LNK306) ซึ่งจ่ายกระแสได้สูงสุด 360 mA



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรชุด Power Supply ใหม่

3.2.2) Microcontroller เบอร์ P89C51RD2 เป็นตัวรับสัญญาณ แล้วทำการมอดูเลท สัญญาณแบบ ASK (Amplitude Shift Keying) ด้วยความถี่ 100 kHz โดยจะส่ง pulse 100 kHz ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

complementary transistor ทำงานเมื่อข้อมูลเป็น 1 และส่งสัญญาณให้ complementary transistor หยุดทำงานเมื่อข้อมูลเป็น 0 ซึ่งในการส่ง pulse 100 kHz นั้นต้องมีการหน่วงเวลาการทำงานของ complementary transistor ด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจรเนื่องจากทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวทำงานพร้อมกัน

โปรแกรมการทำงาน :

ORG 0000H

BEGIN:JNB P2.0,STOP

PULSE:CLR P1.1

NOP

CLR P1.2

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

NOP

SETB P1.2

NOP

SETB P1.1

NOP

NOP

NOP

JMP BEGIN

STOP: CLR P1.1

SETB P1.1

JMP BEGIN

END

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTROL DC MOTOR PROGRAM(CODE ของ Visual Basic)

```
Private Sub Check1_Click()
```

```
If Check1.Value = 1 Then
```

```
    Text1.Enabled = True
```

```
    Text1.BackColor = vbWhite
```

```
    Text2.Enabled = True
```

```
    Text2.BackColor = vbWhite
```

```
    Text3.Enabled = True
```

```
    Text3.BackColor = vbWhite
```

```
    Text4.Enabled = True
```

```
    Text4.BackColor = vbWhite
```

```
    Label5.Enabled = True
```

```
    Label6.Enabled = True
```

```
    Label7.Enabled = True
```

```
    Label8.Enabled = True
```

```
    Label9.Enabled = True
```

```
    Label10.Enabled = True
```

```
    Timer1.Enabled = False
```

```
Else
```

```
    Text1.Enabled = False
```

```
    Text1.BackColor = QBColor(7)
```

```
    Text2.Enabled = False
```

```
    Text2.BackColor = QBColor(7)
```

```
    Text3.Enabled = False
```

```
    Text3.BackColor = QBColor(7)
```

```
    Text4.Enabled = False
```

```
    Text4.BackColor = QBColor(7)
```

```
    Text1.Text = " "
```

```
    Text2.Text = " "
```

```
    Text3.Text = " "
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Text4.Text = " "

Label5.Enabled = False
Label6.Enabled = False
Label7.Enabled = False
Label8.Enabled = False
Label9.Enabled = False
Label10.Enabled = False

Label2.BackColor = vbWhite
Label2.Caption = " "

Timer1.Enabled = False
End If
End Sub

Private Sub Command1_Click()
Command1.Enabled = False
If Check1.Value = 1 Then
    Check1.Enabled = False
    Timer1.Enabled = True
    Text1.Enabled = False
    Text1.BackColor = QBColor(7)
    Text2.Enabled = False
    Text2.BackColor = QBColor(7)
    Text3.Enabled = False
    Text3.BackColor = QBColor(7)
    Text4.Enabled = False
    Text4.BackColor = QBColor(7)
Else
If Option1.Value = True Then
    MSComm1.Output = "1"
End If

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If Option2.Value = True Then
```

```
    MSComm1.Output = "2"
```

```
End If
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
```

```
    MSComm1.Output = "3"
```

```
    Command1.Enabled = True
```

```
    Check1.Enabled = True
```

```
    Check1.Value = 0
```

```
    Shape1(0).FillColor = QBColor(7)
```

```
    Shape1(1).FillColor = QBColor(7)
```

```
    Text1.Enabled = False
```

```
    Text1.BackColor = QBColor(7)
```

```
    Text2.Enabled = False
```

```
    Text2.BackColor = QBColor(7)
```

```
    Text3.Enabled = False
```

```
    Text3.BackColor = QBColor(7)
```

```
    Text4.Enabled = False
```

```
    Text4.BackColor = QBColor(7)
```

```
    Text1.Text = " "
```

```
    Text2.Text = " "
```

```
    Text3.Text = " "
```

```
    Text4.Text = " "
```

```
    Label5.Enabled = False
```

```
    Label6.Enabled = False
```

```
    Label7.Enabled = False
```

```
    Label8.Enabled = False
```

```
    Label9.Enabled = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Label10.Enabled = False
Label2.BackColor = vbWhite
Label2.Caption = " "
Timer1.Enabled = False
End Sub

```

```

Private Sub Form_Load()
MSComm1.CommPort = 1
MSComm1.Settings = "300,N,8,1"
MSComm1.InputLen = 0
MSComm1.RThreshold = 1
MSComm1.PortOpen = True
Label2.BackColor = vbWhite
Shape1(0).BackColor = QBColor(7)
Shape1(1).BackColor = QBColor(7)
Text1.Enabled = False
Text1.BackColor = QBColor(7)
Text2.Enabled = False
Text2.BackColor = QBColor(7)
Text3.Enabled = False
Text3.BackColor = QBColor(7)
Text4.Enabled = False
Text4.BackColor = QBColor(7)
Label5.Enabled = False
Label6.Enabled = False
Label7.Enabled = False
Label8.Enabled = False
Label9.Enabled = False
Label10.Enabled = False
Timer1.Enabled = False

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Timer2.Enabled = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub MSComm1_OnComm()
```

```
Select Case MSComm1.CommEvent
```

```
Case comEvReceive
```

```
Dim Buffer As Variant
```

```
Dim dat As Variant
```

```
Dim z As Integer
```

```
dat = MSComm1.Input
```

```
Buffer = Hex$(Asc(dat))
```

```
Label12.Caption = "Receive Data=" & Buffer
```

```
Select Case Buffer
```

```
Case 41
```

```
Shape1(0).FillColor = vbRed
```

```
Shape1(1).FillColor = QBColor(7)
```

```
Case 42
```

```
Shape1(0).FillColor = vbRed
```

```
Shape1(1).FillColor = QBColor(7)
```

```
Case 61
```

```
For z = 0 To Step 1
```

```
Shape1(z).FillColor = QBColor(7)
```

```
Next z
```

```
End Select
```

```
End Select
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Option1_Click()
```

```
Option2.Value = False
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Option2_Click()
```

```
Option1.Value = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text1_Change()
```

```
sethour = Text1.Text
```

```
sethour = Val(sethour)
```

```
Select Case sethour
```

```
Case Is > 23
```

```
MsgBox "Number hour:1-23", vbCritical, "Error"
```

```
Text1.Text = " "
```

```
End Select
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text2_Change()
```

```
setminute = Text2.Text
```

```
setminute = Val(setminute)
```

```
Select Case setminute
```

```
Case Is > 59
```

```
MsgBox "Number minute:1-59", vbCritical, "Error"
```

```
Text2.Text = " "
```

```
End Select
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text3_Change()
```

```
sethour = Text3.Text
```

```
sethour = Val(sethour)
```

```
Select Case sethour
```

```
Case Is > 23
```

```
MsgBox "Number hour:1-23", vbCritical, "Error"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Text3.Text = " "
```

```
End Select
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Text4_Change()
```

```
setminute = Text4.Text
```

```
setminute = Val(setminute)
```

```
Select Case setminute
```

```
Case Is > 59
```

```
MsgBox "Number minute:1-59", vbCritical, "Error"
```

```
Text4.Text = " "
```

```
End Select
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Timer()
```

```
x = Hour(Time)
```

```
y = Minute(Time)
```

```
x = Val(x)
```

```
y = Val(y)
```

```
sethour = Text3.Text
```

```
setminute = Text4.Text
```

```
a = Val(sethour)
```

```
b = Val(setminute)
```

```
If (x - a = 0) And (y - b = 0) Then
```

```
Label2.BackColor = vbGreen
```

```
Label2.Caption = "START MOTOR"
```

```
If Option1.Value = True Then
```

```
MSComm1.Output = "1"
```

```
End If
```

```
If Option2.Value = True Then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MSComm1.Output = "2"

End If

End If

sethour = Text1.Text
setminute = Text2.Text

c = Val(sethour)
d = Val(setminute)

hh = a + c
mm = b + d

If hh > 23 Then
    hh = hh - 24
    If mm > 59 Then
        mm = mm - 60
        hh = hh + 1
    End If
End If

If (hh - x = 0) And (mm - y = 0) Then
    MSComm1.Output = "3"
    Command1.Enabled = True
    Check1.Enabled = True
    Check1.Value = 0
    Shape1.FillColor = QBColor(7)
    Shape2.FillColor = QBColor(7)
End If

End Sub

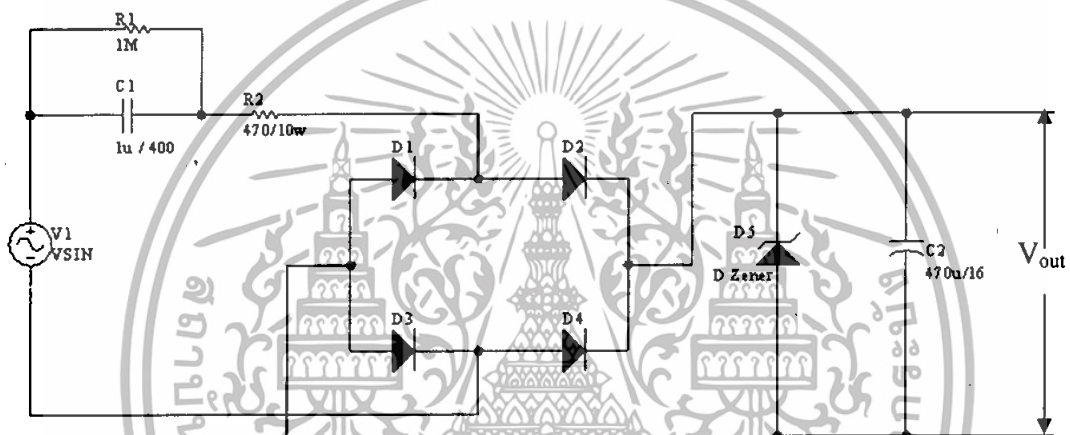
Private Sub Timer2_Timer()
    Label4.Caption = Time$
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

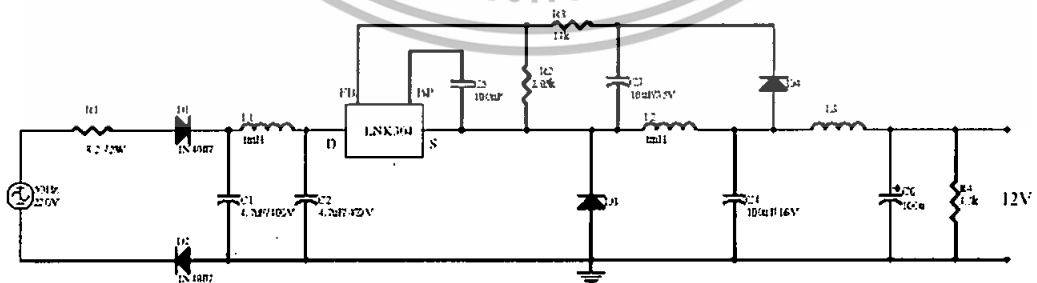
3.3 ตัวรับสัญญาณ ทำหน้าที่รับสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแบบ ASK (Amplitude Shift Keying) มาทำการดีมอดูเลตสัญญาณออกเป็นข้อมูลดิจิทัล เพื่อนำมาควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า ตัวรับสัญญาณประกอบด้วยวงจรต่างๆดังต่อไปนี้

3.3.1) ชุด Power Supply เป็นชุดจ่ายไฟกระแสตรง 5 โวลต์ ใช้เป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจร โดยใช้การคัปปลิงกับ สายไฟฟ้า (AC line 220V_{AC} 50Hz) ผ่านวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบ บริดจ์ (Full Wave Bridge Rectifier) เข้าสู่วงจรกรองลดแรงดันกระเพื่อม (Ripple Filter) และวงจร รักษาระดับแรงดันคงที่ (Voltage Regulator) โดยใช้ซีเนอไรไดโอดในการรักษาระดับแรงดัน



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรชุด Power Supply เดิม

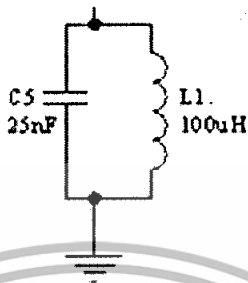
นอกจากวงจร Power Supply ชุดเดิมแล้ว ยังมีวงจร supply ใหม่แบบ Buck Converter โดยใช้ Off-Line Switcher IC (LNK306) ซึ่งจ่ายกระแสได้สูงสุด 360 mA



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรชุด Power Supply ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2) วงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน(วงจร tank) เมื่อคัปปลิ่งC นำสัญญาณจาก AC line เข้าสู่ตัววงจร จะผ่านวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานเพื่อทำหน้าที่เป็น Bandpass Filter



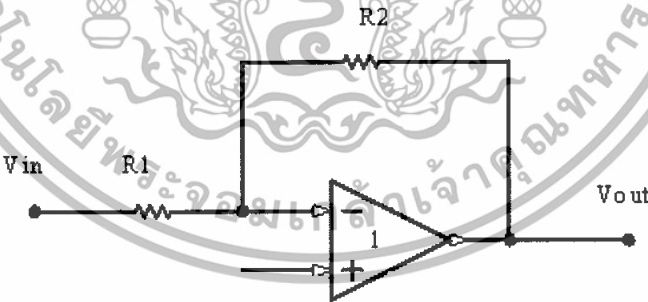
รูปที่ 3.8 แสดงวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน(วงจร tank)

คำนวณหาค่าความถี่เรโซแนนซ์ได้จาก

$$Fr = 1/(2\pi \sqrt{LC})$$
 (3.4)

Fr เป็นค่าความถี่เรโซแนนซ์ (Hz)
L เป็นค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด(H)
C เป็นค่าความจุของตัวเก็บประจุ(F)

3.3.3) วงจรขยายสัญญาณ(วงจร Amplifier) หลังจากผ่านวงจร tank ก็เข้าสู่วงจรขยายสัญญาณ เพื่อทำการขยายสัญญาณ

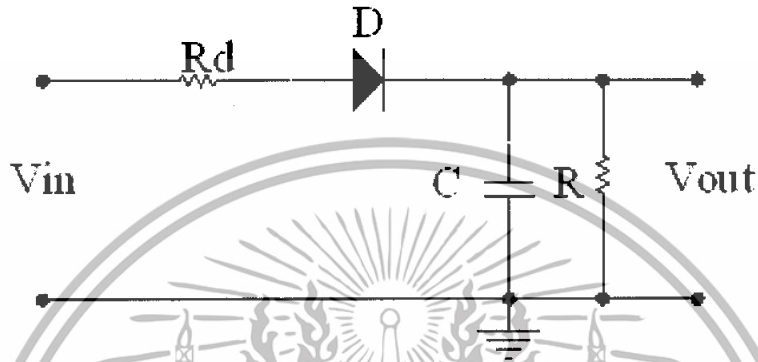


รูปที่ 3.9 แสดงวงจรขยายสัญญาณ

3.3.4) วงจรคีมอดดูเลท ใช้วงจร Envelope detector ในการ คีมอดดูเลทสัญญาณเอเอ็ม คลื่นเอเอ็มจะถูกจ่ายให้กับวงจรเรียงกระแส C จะถูกประจุจนถึงค่าสูงสุดของคลื่นเอเอ็มทุกๆ คาบของคลื่น โดยการเลือกค่าคงที่ RC ที่เหมาะสม สัญญาณที่ทางออกจะได้กรอบของคลื่นเอเอ็ม โดยมีแรงดันกระเพื่อมเล็กน้อย โดยที่ค่า RC มีค่าประมาณ

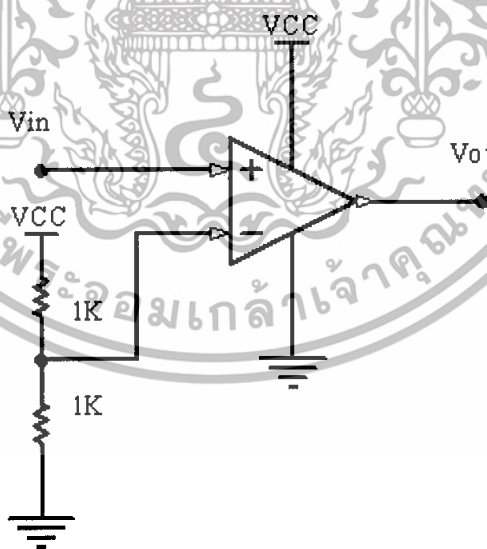
$$RC = 1/(2\pi f_{m\text{MAX}})$$
 (3.5)

ในกรณีที่ $\omega_c \gg \omega_{mMAX}$ แรงดันกระแสเฟรมจะมีขนาดเล็กมากจนแทบจะมองไม่เห็น การที่ค่า RC มีค่ามากเกินไป จะทำให้เกิดความเพี้ยนที่เรียกว่า Diagonal Clipping และถ้า RC มีค่าต่ำ v_o จะมีกระแสเฟรมสูง วงจรไดโอด Envelope detector จะทำงานได้ดี เมื่อขนาดของคลื่นที่จ่ายให้กับวงจรมีขนาดใหญ่



รูปที่ 3.10 แสดงวงจร Envelope detector

3.3.5) วงจรเปรียบเทียบแรงดัน(วงจร Comparator) เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ทำให้รูปสัญญาณเรียบขึ้น



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรเปรียบเทียบแรงดัน(วงจร Comparator)

3.3.6) Microcontroller เบอร์ AT89C52 เป็นตัวนำข้อมูลที่ได้จากวงจร Comparator ไปควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****CONTROL DC MOTOR PROGRAM*****/

#include <REGX52.H>

sbit out_0 = P1^0 ;
sbit out_1 = P1^1 ;
unsigned char x ;
void delay(unsigned int count)
{
    int i,j;
    for(i=0;i<count;i++)
    {
        for(j=0;j<200;j++);
    }
}
void serial()interrupt 4
{
    if(RI)
    {
        x=SBUF ;
        RI = 0;
    }
    if(TI)
    {
        TI=0;
    }
}
void serial_inter ( )
{
    SCON=0x50;
    TMOD=0x20;
    TH1=0xA0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

EA=1;
ES=1;
TR1=1;
TI= 1;
}
void main ( )
{
  serial_inter( );
  P1 = 0x00;
  while(1)
  {
    switch( x )
    {
      case 0x31 :
        out_1 = 0 ;
        out_0 = 1 ;
        delay(100);
        SBUF=0x41 ;
        break;
      case 0x32 :
        out_0 = 0 ;
        out_1 = 1 ;
        delay(100) ;
        SBUF=0x42 ;
        break;
      case 0x33 :
        out_1 = 0 ;
        out_0 = 0 ;
        delay(50);
        SBUF=0x61 ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

break;
}
}
}

```

จากโปรแกรมควบคุมมอเตอร์เป็นการรับข้อมูลจากขา Tx ของ serial port (ที่ผู้ใช้สั่งงานทางจอแสดงผลซึ่งเขียนจากโปรแกรม Visual Basic) มาเข้าขา Rx ของ AT89C52 โดยกำหนดอัตราการรับ-ส่งข้อมูล (Baud rate) ที่ 300 bit/sec เมื่อ Micro ได้รับข้อมูลแล้วจะส่งข้อมูลออกทาง port เพื่อส่งไปยังวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบ H-bridge เพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์ต่อไป เมื่อ Micro ได้รับข้อมูลแล้วจะทำการส่งข้อมูลกลับจากขา Tx ของ Micro ไปยังขา Rx ของ serial port เพื่อรับข้อมูลไปแสดงทางจอแสดงผล แต่ในโครงงานนี้ได้ทดลองเฉพาะส่วนของการส่งข้อมูลจาก serial port ไปยัง Micro เท่านั้น ซึ่งเป็นการส่งทางเดียว ดังนั้นในการเพิ่มการทำงานให้มีการส่งข้อมูลกลับจาก Micro มายัง serial port จะต้องเพิ่มส่วนของ Hardware คือ ในแต่ละชุดควบคุมจะต้องมีวงจรที่เป็นส่วนของภาคส่งสัญญาณ (วงจรมอดูเลตสัญญาณ+วงจรสร้าง delay time, complementary transistor) และภาครับสัญญาณ (วงจร tank, วงจรขยายสัญญาณ, วงจร envelope detector, วงจร comparator) เพื่อให้สามารถรับ-ส่งสัญญาณผ่าน AC LINE ได้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 การทดสอบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

การทดสอบคุณสมบัติต่างๆของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

คุณสมบัติต่างๆของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ได้ทำการทดสอบมีดังนี้

- วัดแรงดันเอาต์พุตของวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงคงที่ 12V
- โหลดเรกูเลชัน (Load Regulation : %LR) เป็นการทดสอบความสามารถในการรักษา
ระดับแรงดันที่เอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงโดยที่

$$\%LR = (V_{NL} - V_{FL}) / V_{NL} \%$$

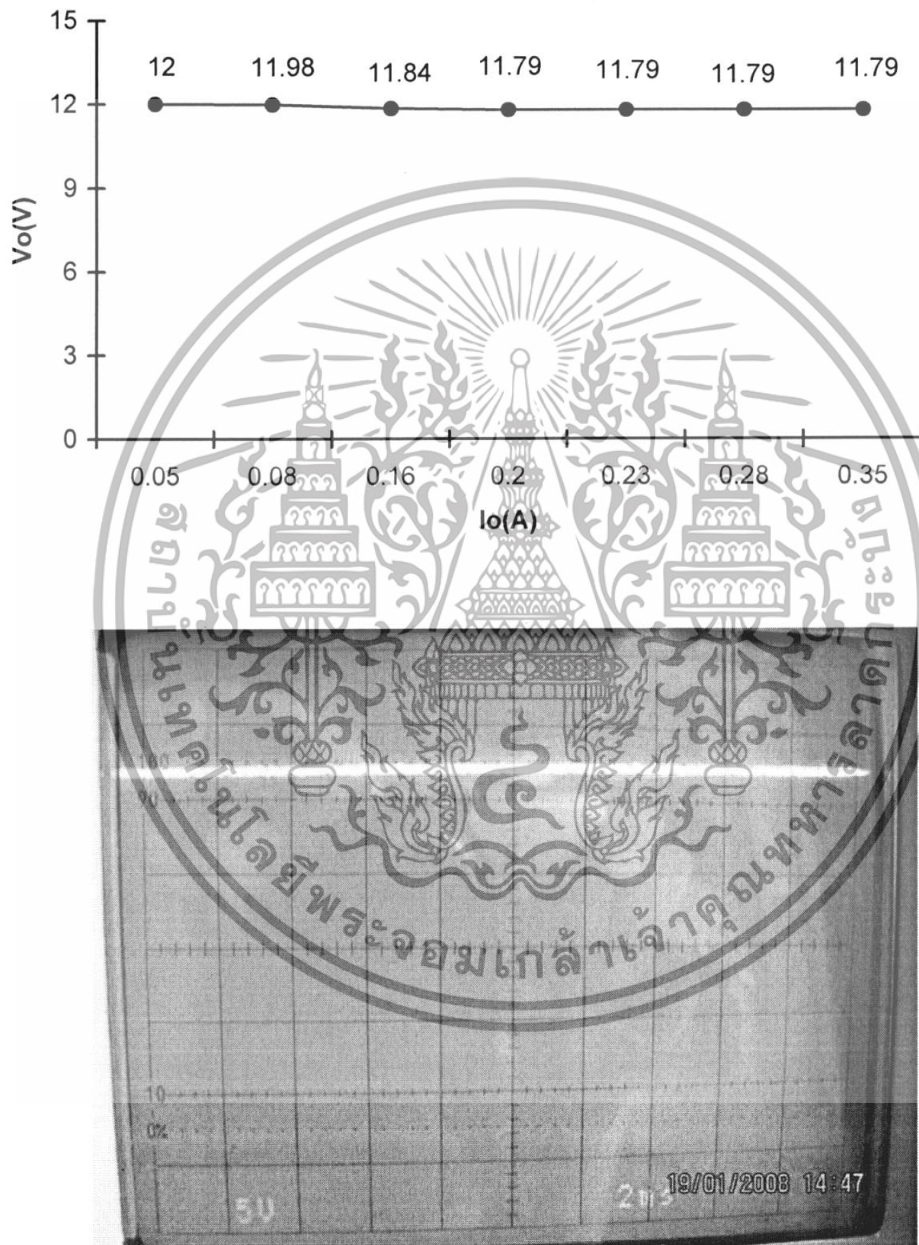
เมื่อ V_{NL} คือ แรงดันเอาต์พุตขณะที่ไม่มีโหลด (No Load)

V_{FL} คือ แรงดันเอาต์พุตขณะที่มีโหลดมากที่สุดที่แรงดันเอาต์พุตยังคงที่อยู่ที่ได้ (Full Load)

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุตของวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงคงที่ 12V ที่โหลดค่าต่างๆ

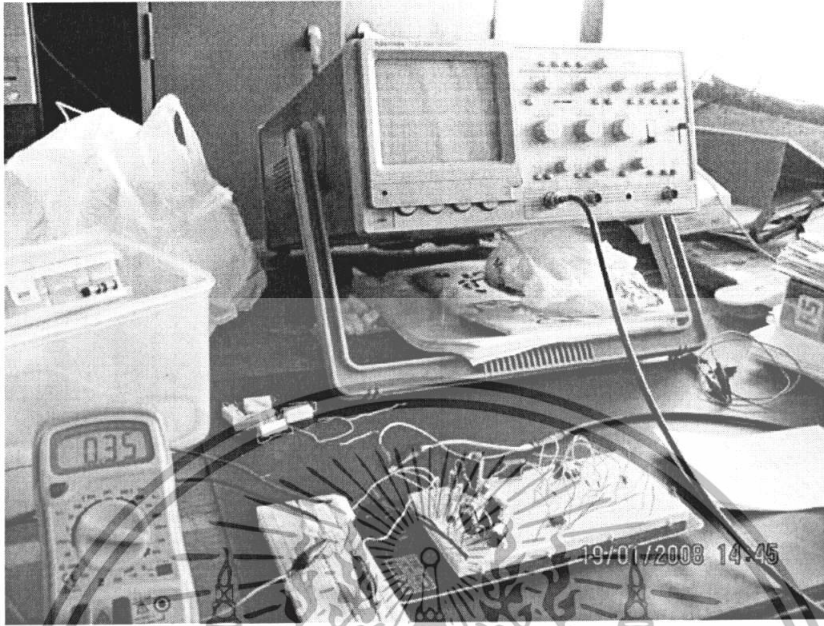
Load(Ω)	$V_{out}(V)$	$I_{out}(mA)$	%LR
30	11.79	350	1.75
40	11.79	280	1.75
50	11.79	230	1.75
60	11.79	200	1.75
75	11.84	160	1.33
150	11.98	80	0.17
250	12.00	50	0

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_o และ I_o ของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงคงที่ 12V 0.35 A ที่โหลดค่าต่างๆ



รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่วัดจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

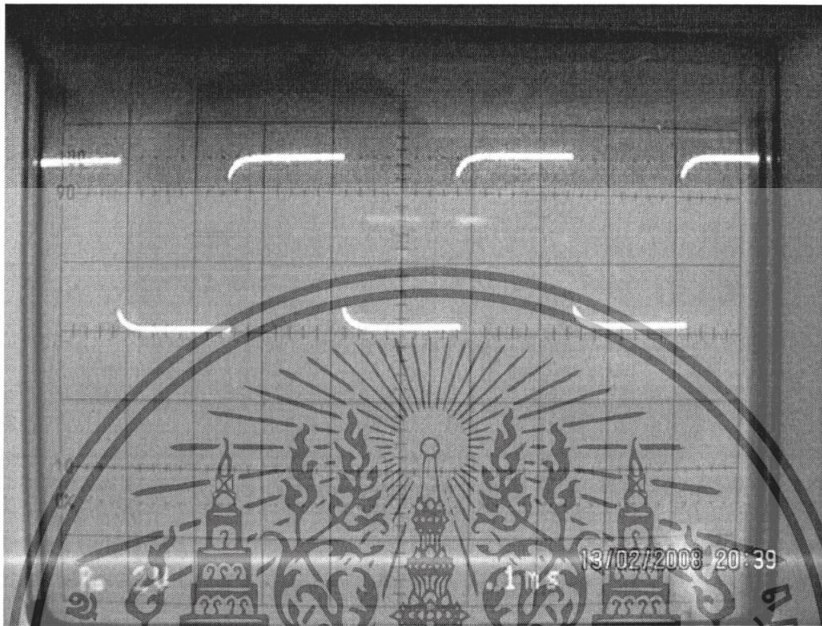
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



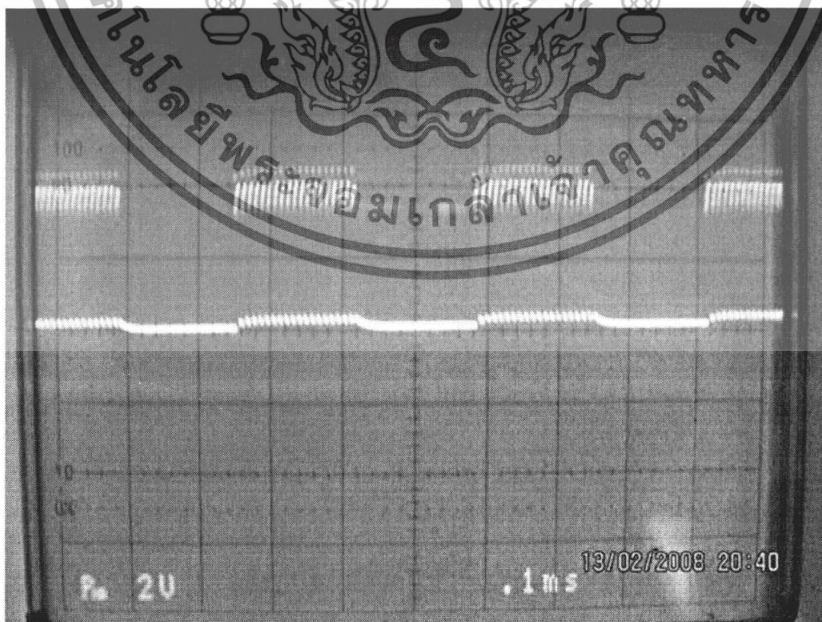
รูปที่ 4.3 แสดงการวัดกระแสโดยใส่โหนดที่ดึงกระแสสูงสุดจากชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์
ได้ 350 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 วัดสัญญาณที่จุดต่างๆของวงจรภาคส่งและภาครับ

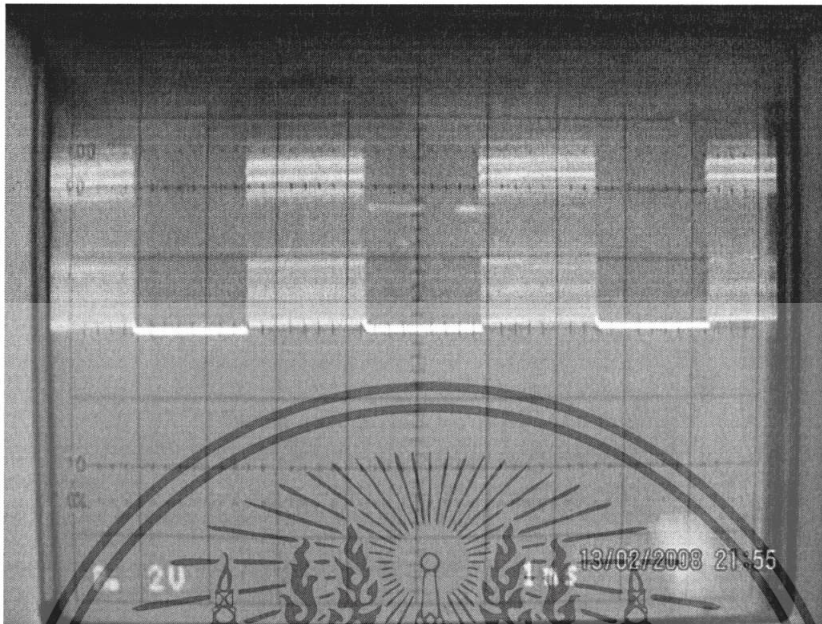


รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณ data input ที่วัดจากขา4(Reset) ของ NE555 ($V_{cc} = 5V$)

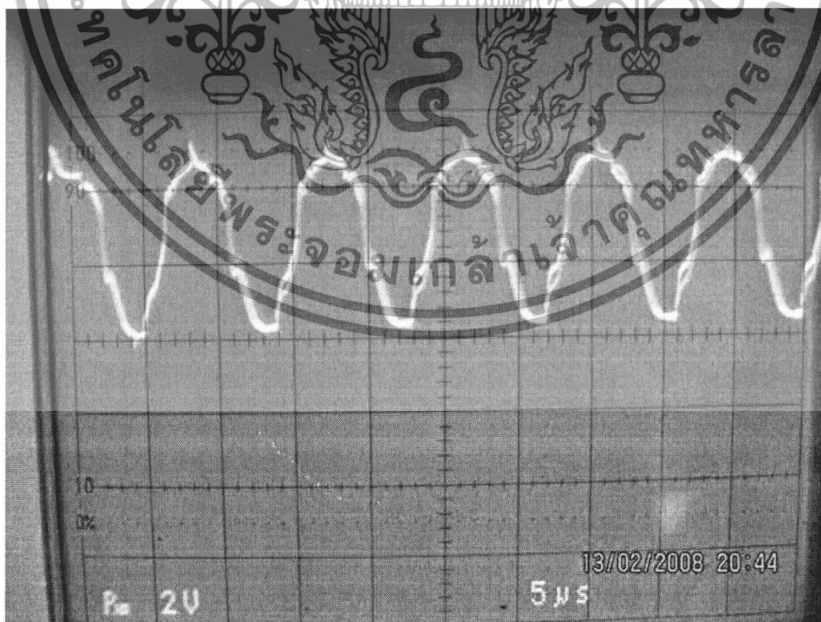


รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณที่วัดจากขา3(output)ของ NE555 ($V_{cc} = 5V$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

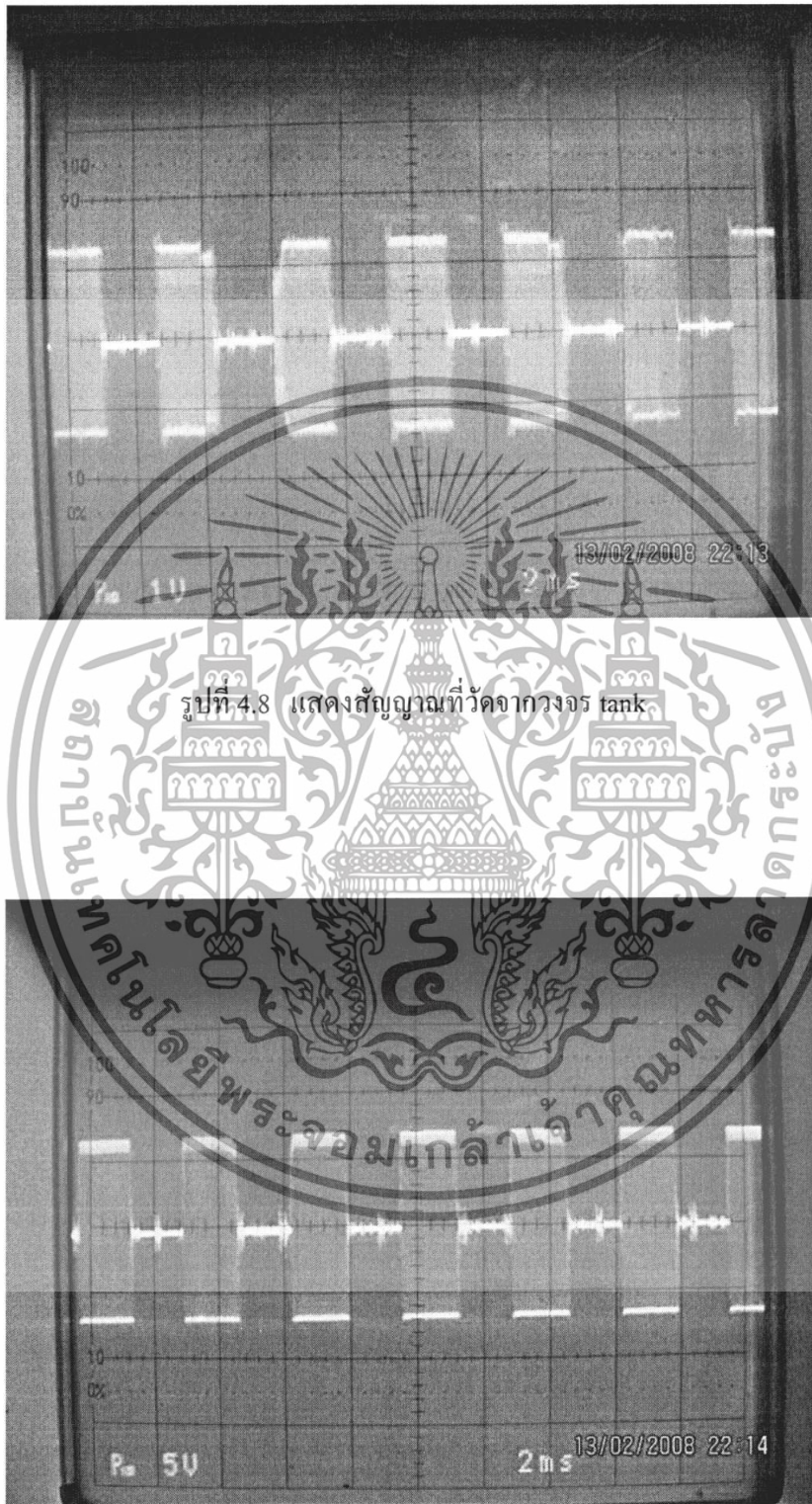


รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณที่วัดจากขา collector ของ complementary transistors (1ms Time/DIV)
($V_{cc} = 5V$)



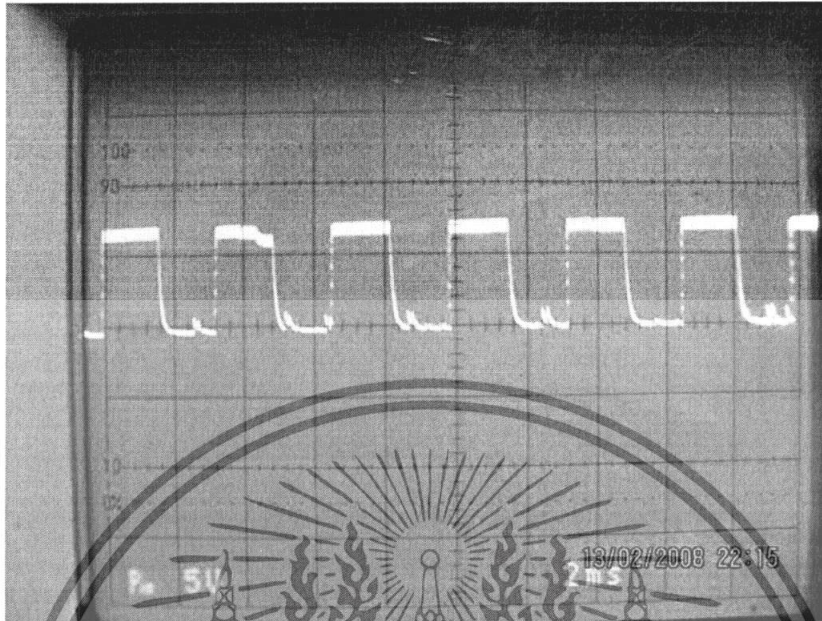
รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณที่วัดจากขา collector ของ complementary transistors ($5\mu s$ Time/DIV)
($V_{cc} = 5V$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

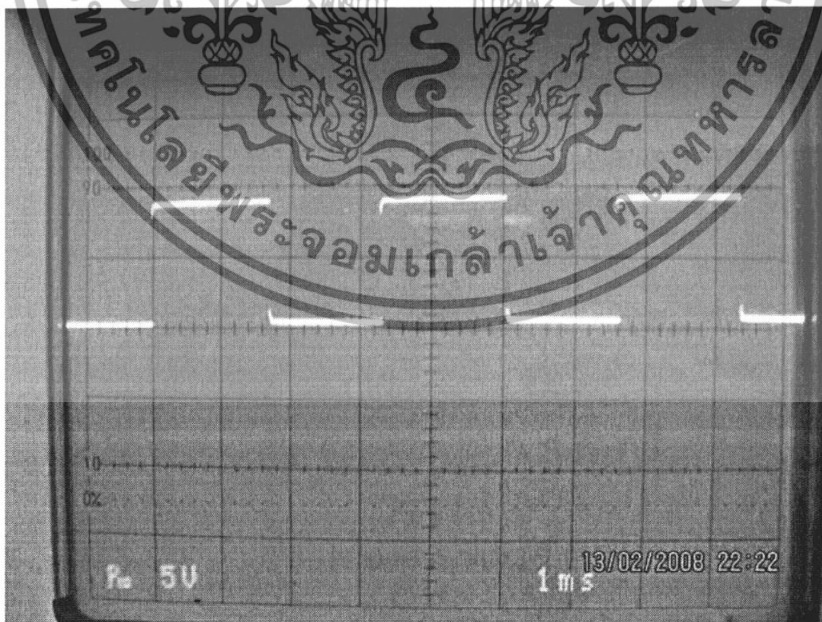


รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณที่วัดหลังจากวงจร Amplifier(+Vcc = +9V,-Vcc = -10V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



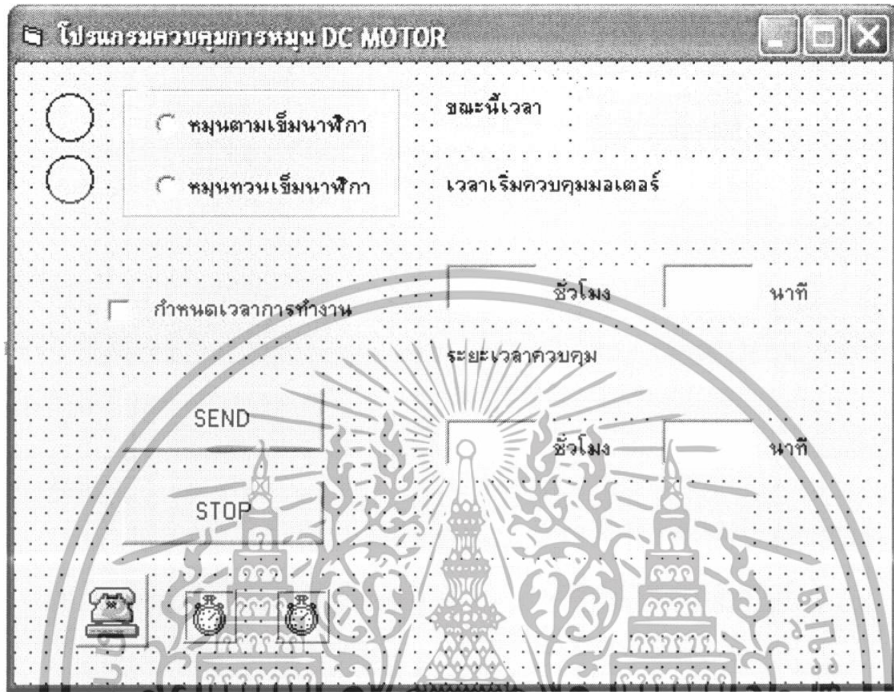
รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณที่วัดหลังจากวงจร envelope detector



รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณที่วัดหลังจากวงจร comparator (ที่ $V_{cc} = 9V$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3 โปรแกรมควบคุมการหมุน DC MOTOR

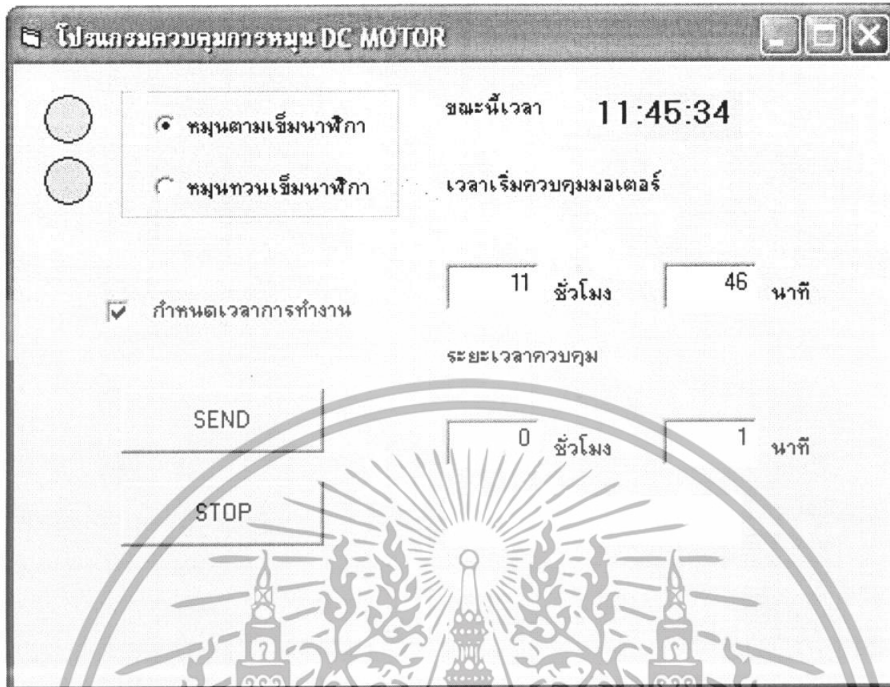


รูปที่ 4.12 แสดง Form ของโปรแกรมควบคุมการหมุน DC MOTOR



รูปที่ 4.13 แสดงหน้าต่างของโปรแกรมควบคุมการหมุน DC MOTORเมื่อเริ่มการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงการควบคุมการหมุน(ตามเข็มนาฬิกา,ทวนเข็มนาฬิกา),การตั้งเวลาให้DC MOTOR ของโปรแกรมควบคุมการหมุน DC MOTOR



รูปที่ 4.15 แสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการหมุน DC MOTOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์

5.1 สรุปผลการปฏิบัติงาน

ในการปฏิบัติงานเริ่มต้นจากการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสายไฟฟ้ากระแสสลับ ทั้งทฤษฎีการมอดูเลท(Modulation) ดีมอดูเลท(Demodulation) ทฤษฎีเกี่ยวกับสัญญาณรบกวน วงจรกรองความถี่(Filter) วงจรเรโซแนนซ์ วงจรขยาย วงจรเปรียบเทียบแรงดัน(Comparator) และวงจรอื่นๆที่เกี่ยวข้องโดยอาศัยประสบการณ์และความรู้พื้นฐานที่ได้เรียนมา และทำการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมจากแหล่งความรู้ต่างๆ

ขั้นตอนการปฏิบัติงานหลังจากศึกษาข้อมูลแล้ว คือการออกแบบวงจรที่ละส่วนตามทฤษฎีที่ได้ศึกษามา และทำการทดลองดูผลที่ละส่วนว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ แล้วทำการแก้ไขปรับปรุงผลให้เป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วผลที่ได้มักไม่เป็นไปตามทฤษฎีเพราะข้อจำกัดหลายอย่างในทางปฏิบัติ เช่น สิ่งแวดล้อม หรือแม้แต่นคุณสมบัติของตัวอุปกรณ์อันเกิดจากกระบวนการผลิต จึงไม่ควรยึดติดกับหลักทฤษฎีมากเกินไป แต่ถ้าผลที่ได้แตกต่างจากทฤษฎีโดยสิ้นเชิงให้หาสาเหตุที่ทำให้เกิดผลเช่นนั้น หาเหตุผลรองรับหรือแก้ไขค่าให้ใกล้เคียงกับทฤษฎีแล้วแต่จะเห็นสมควร โดยพิจารณาจากผลที่เราต้องการเป็นหลัก

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

อุปสรรคที่พบส่วนใหญ่เป็นเรื่องเกี่ยวกับการกำจัดสัญญาณรบกวน ตามที่ได้ออกแบบวงจรโดยแยกทำการทดลองที่ละส่วนนั้นเมื่อนำมาต่อรวมกันกลับไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ทั้งนี้เนื่องจากวงจรส่วนใหญ่นั้นจะมีอิมพีแดนซ์ร่วมระหว่างวงจร เพราะแต่ละวงจรมันก็จำเป็นที่จะต้องมีส่วนจ่ายกำลังงานให้แก่อุปกรณ์ต่างๆ ในแต่ละวงจรมันๆ ซึ่งทำให้การออกแบบแหล่งจ่ายกระแสไฟตรงต้องทำอย่างรัดกุมเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนอันเกิดจากการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง อีกทั้งวงจรบางส่วนมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมาก และอุปกรณ์บางตัวหาซื้อค่อนข้างยาก อีกทั้งอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการไม่มีจำหน่ายจึงต้องใช้อุปกรณ์ที่มีค่าใกล้เคียงแทน โดยทำให้ผลที่ได้จากการทำงานมีค่าผิดพลาดไปบ้างแต่ยังอยู่ในช่วงที่พอยอมรับได้โดยพิจารณาจากผลการทำงานของวงจร

5.3 แนวทางในการแก้ไข้ปัญหา

1. เมื่อมีการทดลองทีละส่วนแยกกันควรทำความเข้าใจการทำงานในส่วนนั้นให้่องแท้เพื่อให้สามารถปรับปรุงแก้ไขค่าต่างๆ ให้เป็นไปตามที่ต้องการในกรณีที่น่ามาต่อกับส่วนอื่นๆ แล้วผลการทดลองคลาดเคลื่อนไปจากเดิม

2. ในการทดลองไม่ควรยึดติดกับทฤษฎีมากเกินไป ควรวิเคราะห์หาสาเหตุและทำการปรับปรุงแก้ไขผลการทดลองให้เป็นไปตามที่ต้องการ โดยให้เป็นไปในทำนองเดียวกับทฤษฎีตามสมควร

3. ยึดผลที่เราต้องการเป็นหลักโดยอาศัยความรู้ทั้งทางทฤษฎีและทางปฏิบัติร่วมกัน

4. ผู้ทำการออกแบบจะต้องศึกษาทั้งการทำงานในส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ให้เป็นอย่างดี เพื่อที่จะให้การทำงานในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

5.4 ประโยชน์ในการประยุกต์ใช้งาน

สามารถนำเครื่องควบคุมระยะไกลผ่านสายไฟฟ้ากระแสสลับไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ภายในบ้าน ซึ่งจะส่งข้อมูลการควบคุมผ่านสายไฟฟ้ากระแสสลับ และยังควบคุมอุปกรณ์ได้เป็นจำนวนมาก ตัวอย่างการนำไปควบคุม เช่น การควบคุมการเปิด-ปิดไฟหรือการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปในบ้านที่มีลักษณะการทำงานเป็นแบบเปิด-ปิด ที่น่าสนใจคือในขณะนี้รัฐบาลกำลังรณรงค์ให้ทั้งประเทศประหยัดพลังงาน ถ้าทำการพัฒนาและปรับปรุงโครงงานนี้ให้เหมาะสม และสะดวกต่อการใช้งานจริงในชีวิตประจำวันก็เป็นโครงการที่จะช่วยให้ทั้งภาครัฐและภาคเอกชนสามารถช่วยประหยัดพลังงานและงบประมาณของประเทศชาติได้

5.5 สิ่งที่ได้จากการทำโครงการ

1. ฝึกฝนทักษะในการออกแบบวงจร
2. สามารถประยุกต์สิ่งที่ได้จากการเรียนมาเป็นชิ้นงานที่สามารถใช้งานได้จริง
3. ได้รับความรู้จากการศึกษาเอง และโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการให้คำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา อันจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและประกอบอาชีพในภายภาคหน้า
4. ฝึกการทำงานร่วมกับผู้อื่น ทำให้พัฒนาความสามารถในการทำงานเป็นทีม ฝึกการยอมรับความคิดเห็นของผู้อื่น อันจะเป็นประโยชน์ในการประกอบอาชีพในอนาคต
5. รู้จักการแบ่งเวลาให้เหมาะสม และรู้จักการวางแผนในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ประภากร สุวรรณะ, “เอกสารประกอบการเรียนวิชา High Frequency Communications” .
2. ขจร อนุดิษฐ์, “การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยภาษา C” , Core Funtion, 344 หน้า, 2550.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LNK304-306

LinkSwitch[®]-TN Family

Lowest Component Count, Energy Efficient
Off-Line Switcher IC



Product Highlights

Cost Effective Linear/Cap Dropper Replacement

- Lowest cost and component count buck converter solution
- Fully integrated auto-restart for short-circuit and open loop fault protection - saves external component costs
- 66 kHz operation with accurate current limit - allows low cost off-the-shelf 1 mH inductor for up to 120 mA output current
- Tight tolerances and negligible temperature variation
- High breakdown voltage of 700 V provides excellent input surge withstand
- Frequency jittering dramatically reduces EMI (~10 dB) - minimizes EMI filter cost
- High thermal shutdown temperature (+135 °C minimum)

Much Higher Performance over Discrete Buck and Passive Solutions

- Supports buck, buck-boost and flyback topologies
- System level thermal overload, output short-circuit and open control loop protection
- Excellent line and load regulation even with typical configuration
- High bandwidth provides fast turn-on with no overshoot
- Current limit operation rejects line ripple
- Universal input voltage range (85 VAC to 265 VAC)
- Built-in current limit and hysteretic thermal protection
- Higher efficiency than passive solutions
- Higher power factor than capacitor-fed solutions
- Entirely manufacturable in SMD

EcoSmart[®] – Extremely Energy Efficient

- Consumes typically only 50/80 mW in self-powered buck topology at 115/230 VAC input with no load (opto feedback)
- Consumes typically only 7/12 mW in flyback topology with external bias at 115/230 VAC input with no load
- Meets Blue Angel, Energy Star, and EU requirements

Applications

- Appliances and timers
- LED drivers and industrial controls

Description

LinkSwitch-TN is specifically designed to replace all linear and capacitor-fed (cap dropper) non-isolated power supplies in the under 360 mA output current range at equal system cost while offering much higher performance and energy efficiency.

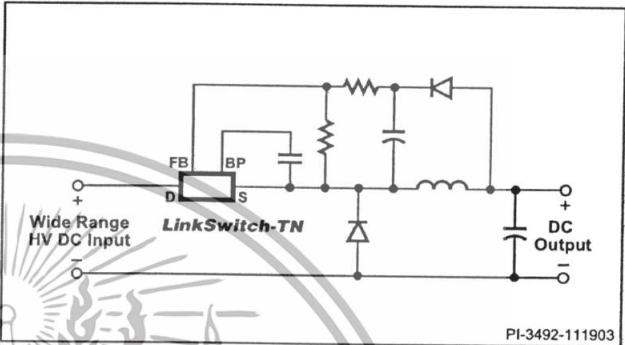


Figure 1. Typical Buck Converter Application (See Application Examples Section for Other Circuit Configurations).

OUTPUT CURRENT TABLE ⁽¹⁾				
PRODUCT ⁽⁴⁾	230 VAC ±15%		85-265 VAC	
	MDCM ⁽²⁾	CCM ⁽³⁾	MDCM ⁽²⁾	CCM ⁽³⁾
LNK304P or G	120 mA	170 mA	120 mA	170 mA
LNK305P or G	175 mA	280 mA	175 mA	280 mA
LNK306P or G	225 mA	360 mA	225 mA	360 mA

Table 1. Notes: 1. Typical output current in a non-isolated buck converter. Output power capability depends on respective output voltage. See Key Applications Considerations Section for complete description of assumptions, including fully discontinuous conduction mode (DCM) operation. 2. Mostly discontinuous conduction mode. 3. Continuous conduction mode. 4. Packages: P: DIP-8B, G: SMD-8B. Please see ordering information.

LinkSwitch-TN devices integrate a 700 V power MOSFET, oscillator, simple On/Off control scheme, a high voltage switched current source, frequency jittering, cycle-by-cycle current limit and thermal shutdown circuitry onto a monolithic IC. The start-up and operating power are derived directly from the voltage on the DRAIN pin, eliminating the need for a bias supply and associated circuitry in buck or flyback converters. The fully integrated auto-restart circuit safely limits output power during fault conditions such as short-circuit or open loop, reducing component count and system-level load protection cost. A local supply provided by the IC allows use of a non-safety graded optocoupler acting as a level shifter to further enhance line and load regulation performance in buck and buck-boost converters, if required.

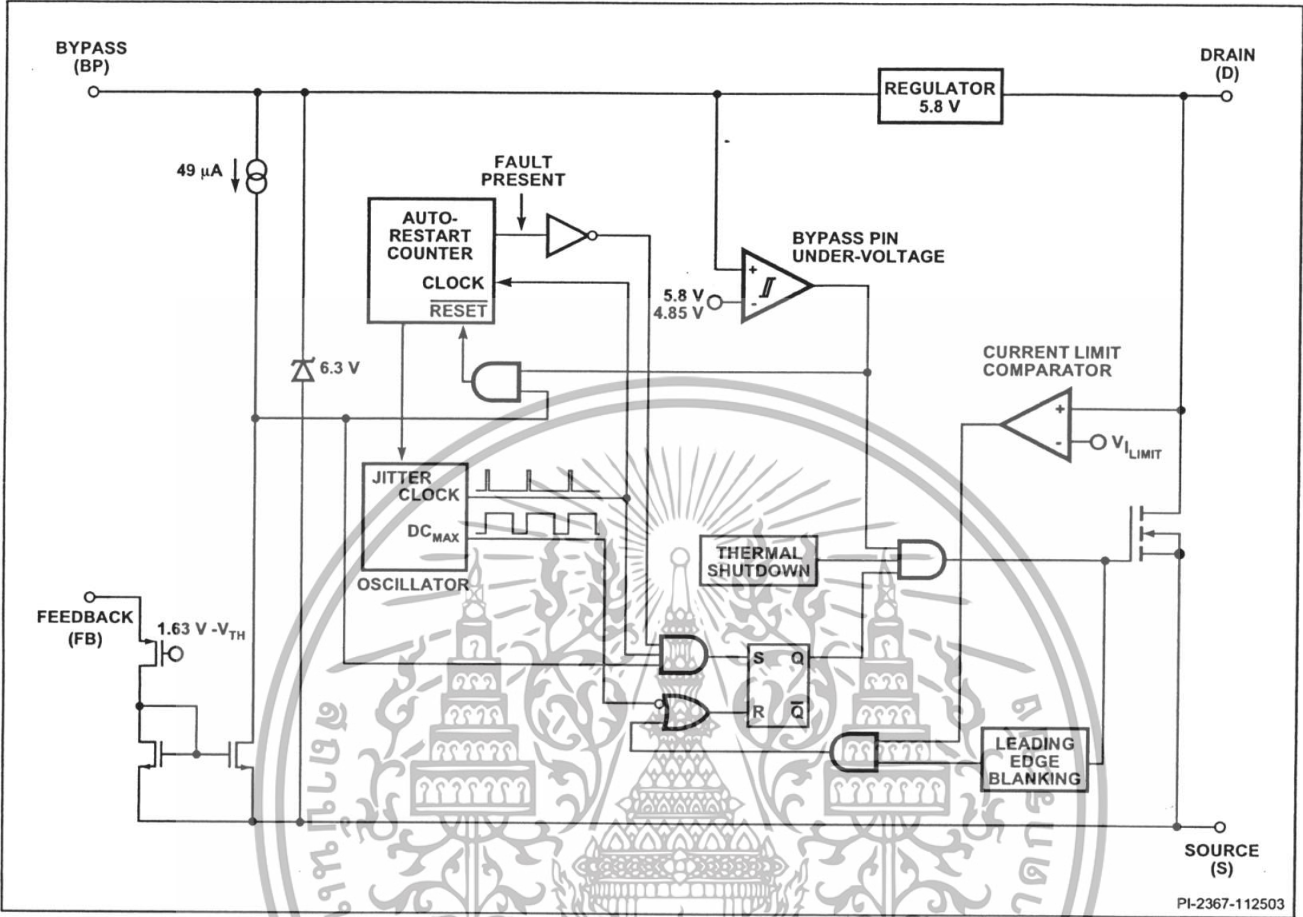


Figure 2. Functional Block Diagram.

Pin Functional Description

DRAIN (D) Pin:
Power MOSFET drain connection. Provides internal operating current for both start-up and steady-state operation.

BYPASS (BP) Pin:
Connection point for a 0.1 μF external bypass capacitor for the internally generated 5.8 V supply.

FEEDBACK (FB) Pin:
During normal operation, switching of the power MOSFET is controlled by this pin. MOSFET switching is terminated when a current greater than 49 μA is delivered into this pin.

SOURCE (S) Pin:
This pin is the power MOSFET source connection. It is also the ground reference for the BYPASS and FEEDBACK pins.

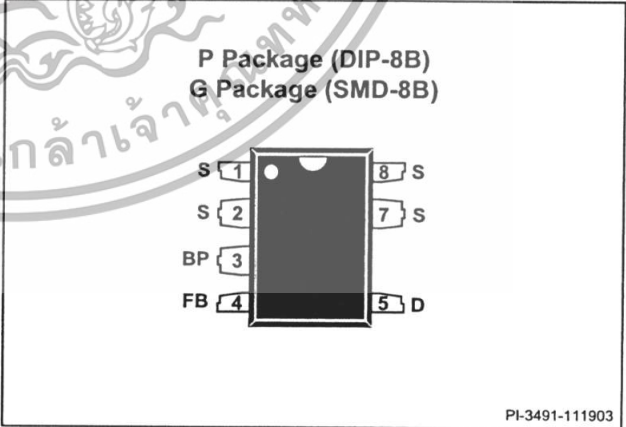


Figure 3. Pin Configuration.

LinkSwitch-TN Functional Description

LinkSwitch-TN combines a high voltage power MOSFET switch with a power supply controller in one device. Unlike conventional PWM (pulse width modulator) controllers, *LinkSwitch-TN* uses a simple ON/OFF control to regulate the output voltage. The *LinkSwitch-TN* controller consists of an oscillator, feedback (sense and logic) circuit, 5.8 V regulator, BYPASS pin under-voltage circuit, over-temperature protection, frequency jittering, current limit circuit, leading edge blanking and a 700 V power MOSFET. The *LinkSwitch-TN* incorporates additional circuitry for auto-restart.

Oscillator

The typical oscillator frequency is internally set to an average of 66 kHz. Two signals are generated from the oscillator: the maximum duty cycle signal (DC_{MAX}) and the clock signal that indicates the beginning of each cycle.

The *LinkSwitch-TN* oscillator incorporates circuitry that introduces a small amount of frequency jitter, typically 4 kHz peak-to-peak, to minimize EMI emission. The modulation rate of the frequency jitter is set to 1 kHz to optimize EMI reduction for both average and quasi-peak emissions. The frequency jitter should be measured with the oscilloscope triggered at the falling edge of the DRAIN waveform. The waveform in Figure 4 illustrates the frequency jitter of the *LinkSwitch-TN*.

Feedback Input Circuit

The feedback input circuit at the FB pin consists of a low impedance source follower output set at 1.65 V. When the current delivered into this pin exceeds 49 μ A, a low logic level (disable) is generated at the output of the feedback circuit. This output is sampled at the beginning of each cycle on the rising edge of the clock signal. If high, the power MOSFET is turned on for that cycle (enabled), otherwise the power MOSFET remains off (disabled). Since the sampling is done only at the beginning of each cycle, subsequent changes in the FB pin voltage or current during the remainder of the cycle are ignored.

5.8 V Regulator and 6.3 V Shunt Voltage Clamp

The 5.8 V regulator charges the bypass capacitor connected to the BYPASS pin to 5.8 V by drawing a current from the voltage on the DRAIN, whenever the MOSFET is off. The BYPASS pin is the internal supply voltage node for the *LinkSwitch-TN*. When the MOSFET is on, the *LinkSwitch-TN* runs off of the energy stored in the bypass capacitor. Extremely low power consumption of the internal circuitry allows the *LinkSwitch-TN* to operate continuously from the current drawn from the DRAIN pin. A bypass capacitor value of 0.1 μ F is sufficient for both high frequency decoupling and energy storage.

In addition, there is a 6.3 V shunt regulator clamping the BYPASS pin at 6.3 V when current is provided to the BYPASS

pin through an external resistor. This facilitates powering of *LinkSwitch-TN* externally through a bias winding to decrease the no-load consumption to about 50 mW.

BYPASS Pin Under-Voltage

The BYPASS pin under-voltage circuitry disables the power MOSFET when the BYPASS pin voltage drops below 4.85 V. Once the BYPASS pin voltage drops below 4.85 V, it must rise back to 5.8 V to enable (turn-on) the power MOSFET.

Over-Temperature Protection

The thermal shutdown circuitry senses the die temperature. The threshold is set at 142 °C typical with a 75 °C hysteresis. When the die temperature rises above this threshold (142 °C) the power MOSFET is disabled and remains disabled until the die temperature falls by 75 °C, at which point it is re-enabled.

Current Limit

The current limit circuit senses the current in the power MOSFET. When this current exceeds the internal threshold (I_{LIMIT}), the power MOSFET is turned off for the remainder of that cycle. The leading edge blanking circuit inhibits the current limit comparator for a short time (t_{LEB}) after the power MOSFET is turned on. This leading edge blanking time has been set so that current spikes caused by capacitance and rectifier reverse recovery time will not cause premature termination of the switching pulse.

Auto-Restart

In the event of a fault condition such as output overload, output short, or an open loop condition, *LinkSwitch-TN* enters into auto-restart operation. An internal counter clocked by the oscillator gets reset every time the FB pin is pulled high. If the FB pin is not pulled high for 50 ms, the power MOSFET switching is disabled for 800 ms. The auto-restart alternately enables and disables the switching of the power MOSFET until the fault condition is removed.

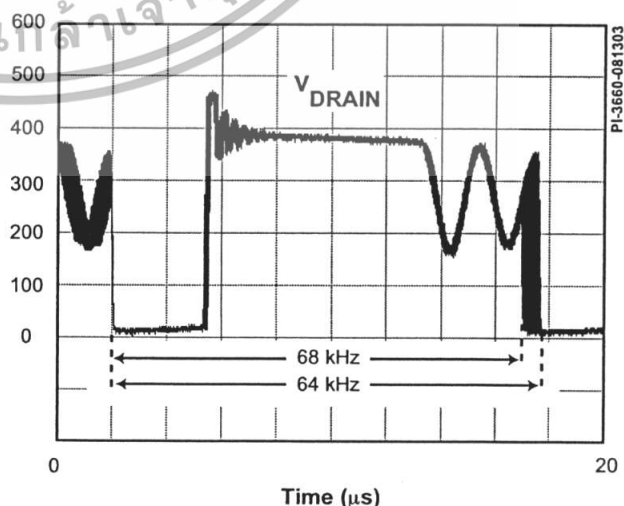


Figure 4. Frequency Jitter.

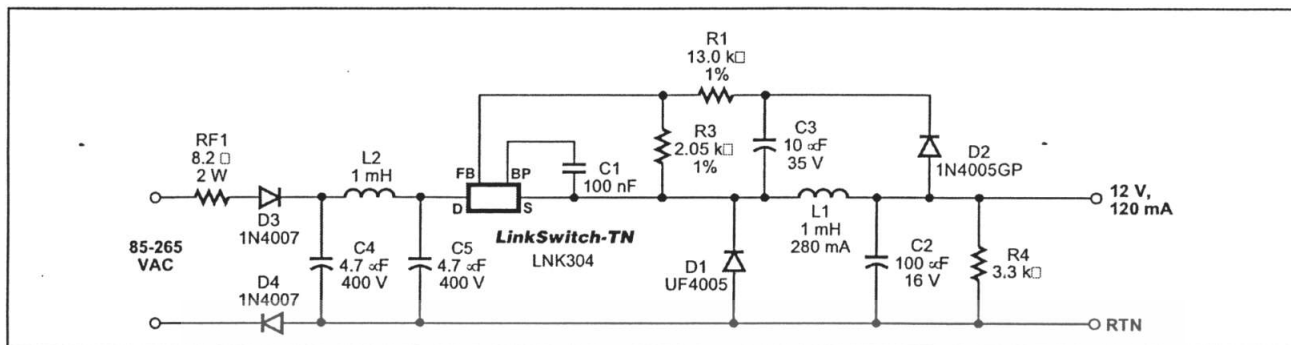


Figure 5. Universal Input, 12 V, 120 mA Constant Voltage Power Supply Using LinkSwitch-TN.

PI-3757-112103

Applications Example

A 1.44 W Universal Input Buck Converter

The circuit shown in Figure 5 is a typical implementation of a 12 V, 120 mA non-isolated power supply used in appliance control such as rice cookers, dishwashers or other white goods. This circuit may also be applicable to other applications such as night-lights, LED drivers, electricity meters, and residential heating controllers, where a non-isolated supply is acceptable.

The input stage comprises fusible resistor RF1, diodes D3 and D4, capacitors C4 and C5, and inductor L2. Resistor RF1 is a flame proof, fusible, wire wound resistor. It accomplishes several functions: a) Inrush current limitation to safe levels for rectifiers D3 and D4; b) Differential mode noise attenuation; c) Input fuse should any other component fail short-circuit (component fails safely open-circuit without emitting smoke, fire or incandescent material).

The power processing stage is formed by the LinkSwitch-TN, freewheeling diode D1, output choke L1, and the output capacitor C2. The LNK304 was selected such that the power supply operates in the mostly discontinuous-mode (MDCM). Diode D1 is an ultra-fast diode with a reverse recovery time (t_{rr}) of approximately 75 ns, acceptable for MDCM operation. For continuous conduction mode (CCM) designs, a diode with a t_{rr} of ≤ 35 ns is recommended. Inductor L1 is a standard off-the-shelf inductor with appropriate RMS current rating (and acceptable temperature rise). Capacitor C2 is the output filter capacitor; its primary function is to limit the output voltage ripple. The output voltage ripple is a stronger function of the ESR of the output capacitor than the value of the capacitor itself.

To a first order, the forward voltage drops of D1 and D2 are identical. Therefore, the voltage across C3 tracks the output voltage. The voltage developed across C3 is sensed and regulated via the resistor divider R1 and R3 connected to U1's FB pin. The values of R1 and R3 are selected such that, at the desired output voltage, the voltage at the FB pin is 1.65 V.

Regulation is maintained by skipping switching cycles. As the output voltage rises, the current into the FB pin will rise. If this exceeds I_{FB} then subsequent cycles will be skipped until the current reduces below I_{FB} . Thus, as the output load is reduced, more cycles will be skipped and if the load increases, fewer cycles are skipped. To provide overload protection if no cycles are skipped during a 50 ms period, LinkSwitch-TN will enter auto-restart, limiting the average output power to approximately 6% of the maximum overload power. Due to tracking errors between the output voltage and the voltage across C3 at light load or no load, a small pre-load may be required (R4). For the design in Figure 5, if regulation to zero load is required, then this value should be reduced to 2.4 kΩ.

Key Application Considerations

LinkSwitch-TN Design Considerations

Output Current Table

Data sheet maximum output current table (Table 1) represents the maximum practical continuous output current for both mostly discontinuous conduction mode (MDCM) and continuous conduction mode (CCM) of operation that can be delivered from a given LinkSwitch-TN device under the following assumed conditions:

- 1) Buck converter topology.
- 2) The minimum DC input voltage is ≥ 70 V. The value of input capacitance should be large enough to meet this criterion.
- 3) For CCM operation a KRP* of 0.4.
- 4) Output voltage of 12 VDC.
- 5) Efficiency of 75%.
- 6) A catch/freewheeling diode with $t_{rr} \leq 75$ ns is used for MDCM operation and for CCM operation, a diode with $t_{rr} \leq 35$ ns is used.
- 7) The part is board mounted with SOURCE pins soldered to a sufficient area of copper to keep the SOURCE pin temperature at or below 100 °C.

*KRP is the ratio of ripple to peak inductor current.

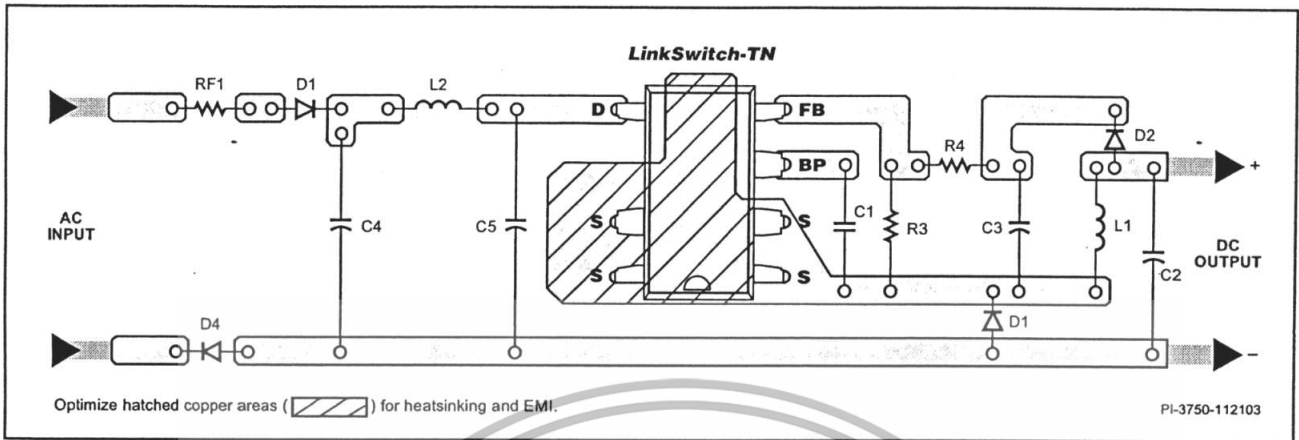


Figure 6. Recommended Printed Circuit Layout for LinkSwitch-TN in a Buck Converter Configuration.

LinkSwitch-TN Selection and Selection Between MDCM and CCM Operation

Select the *LinkSwitch-TN* device, freewheeling diode and output inductor that gives the lowest overall cost. In general, MDCM provides the lowest cost and highest efficiency converter. CCM designs require a larger inductor and ultra-fast ($t_{rr} < 35$ ns) freewheeling diode in all cases. It is lower cost to use a larger *LinkSwitch-TN* in MDCM than a smaller *LinkSwitch-TN* in CCM because of the additional external component costs of a CCM design. However, if the highest output current is required, CCM should be employed following the guidelines below.

Topology Options

LinkSwitch-TN can be used in all common topologies, with or without an opto-coupler and reference to improve output voltage tolerance and regulation. Table 2 provide a summary of these configurations. For more information see the Application Note – *LinkSwitch-TN* Design Guide.

Component Selection

Referring to Figure 5, the following considerations may be helpful in selecting components for a *LinkSwitch-TN* design.

Freewheeling Diode D1

Diode D1 should be an ultra-fast type. For MDCM, reverse recovery time $t_{rr} \leq 75$ ns should be used at a temperature of 70°C or below. Slower diodes are not acceptable, as continuous mode operation will always occur during startup, causing high leading edge current spikes, terminating the switching cycle prematurely, and preventing the output from reaching regulation. If the ambient temperature is above 70°C then a diode with $t_{rr} \leq 35$ ns should be used.

For CCM an ultra-fast diode with reverse recovery time $t_{rr} \leq 35$ ns should be used. A slower diode may cause excessive leading edge current spikes, terminating the switching cycle prematurely and preventing full power delivery.

Fast and slow diodes should never be used as the large reverse recovery currents can cause excessive power dissipation in the diode and/or exceed the maximum drain current specification of *LinkSwitch-TN*.

Feedback Diode D2

Diode D2 can be a low-cost slow diode such as the 1N400X series, however it should be specified as a glass passivated type to guarantee a specified reverse recovery time. To a first order, the forward drops of D1 and D2 should match.

Inductor L1

Choose any standard off-the-shelf inductor that meets the design requirements. A “drum” or “dog bone” “I” core inductor is recommended with a single ferrite element due to its low cost and very low audible noise properties. The typical inductance value and RMS current rating can be obtained from the *LinkSwitch-TN* design spreadsheet available within the *PI Expert* design suite from Power Integrations. Choose L1 greater than or equal to the typical calculated inductance with RMS current rating greater than or equal to calculated RMS inductor current.

Capacitor C2

The primary function of capacitor C2 is to smooth the inductor current. The actual output ripple voltage is a function of this capacitor’s ESR. To a first order, the ESR of this capacitor should not exceed the rated ripple voltage divided by the typical current limit of the chosen *LinkSwitch-TN*.



TOPOLOGY	BASIC CIRCUIT SCHEMATIC	KEY FEATURES
High-Side Buck – Direct Feedback		1) Output referenced to input 2) Positive output (V_o) with respect to $-V_{IN}$ 3) Step down – $V_o < V_{IN}$ 4) Low cost direct feedback ($\pm 10\%$ typ.)
High-Side Buck – Optocoupler Feedback		1) Output referenced to input 2) Positive output (V_o) with respect to $-V_{IN}$ 3) Step down – $V_o < V_{IN}$ 4) Optocoupler feedback - Accuracy only limited by reference choice - Low cost non-safety rated opto - No pre-load required 5) Minimum no-load consumption
Low-Side Buck – Optocoupler Feedback		1) Output referenced to input 2) Negative output (V_o) with respect to $+V_{IN}$ 3) Step down – $V_o < V_{IN}$ 4) Optocoupler feedback - Accuracy only limited by reference choice - Low cost non-safety rated opto - No pre-load required
Low-Side Buck – Constant Current LED Driver		1) Output referenced to input 2) Negative output (V_o) with respect to $+V_{IN}$ 3) Step down – $V_o < V_{IN}$ 4) Optocoupler feedback - Accuracy only limited by reference choice - Low cost non-safety rated opto - No pre-load required - Ideal for driving LEDs
High-Side Buck Boost – Direct Feedback		1) Output referenced to input 2) Negative output (V_o) with respect to $-V_{IN}$ 3) Step up/down – $V_o > V_{IN}$ or $V_o < V_{IN}$ 4) Low cost direct feedback ($\pm 10\%$ typ.) 5) Fail-safe – output is not subjected to input voltage if the internal MOSFET fails
High-Side Buck Boost – Constant Current LED Driver		6) Ideal for driving LEDs - better accuracy and temperature stability than Low-side Buck constant current LED driver

Table 2. Common Circuit Configurations Using LinkSwitch-TN.

TOPOLOGY	BASIC CIRCUIT SCHEMATIC	KEY FEATURES
Low-Side Buck Boost – Optocoupler Feedback		1) Output referenced to input 2) Positive output (V_o) with respect to $+V_{IN}$ 3) Step up/down – $V_o > V_{IN}$ or $V_o < V_{IN}$ 4) Optocoupler feedback - Accuracy only limited by reference choice - Low cost non-safety rated opto - No pre-load required 5) Fail-safe – output is not subjected to input voltage if the internal MOSFET fails 6) Minimum no-load consumption

Table 2 (cont). Common Circuit Configurations Using LinkSwitch-TN.

Feedback Resistors R1 and R3

The values of the resistors in the resistor divider formed by R1 and R3 are selected to maintain 1.65 V at the FB pin. It is recommended that R3 be chosen as a standard 1% resistor of 2 kΩ. This ensures good noise immunity by biasing the feedback network with a current of approximately 0.8 mA.

Feedback Capacitor C3

Capacitor C3 can be a low cost general purpose capacitor. It provides a “sample and hold” function, charging to the output voltage during the off time of LinkSwitch-TN. Its value should be 10 μF to 22 μF; smaller values cause poorer regulation at light load conditions.

Pre-load Resistor R4

In high-side, direct feedback designs where the minimum load is <3 mA, a pre-load resistor is required to maintain output regulation. This ensures sufficient inductor energy to pull the inductor side of the feedback capacitor C3 to input return via D2. The value of R4 should be selected to give a minimum output load of 3 mA.

In designs with an optocoupler the Zener or reference bias current provides a 1 mA to 2 mA minimum load, preventing “pulse bunching” and increased output ripple at zero load.

LinkSwitch-TN Layout Considerations

In the buck or buck-boost converter configuration, since the SOURCE pins in LinkSwitch-TN are switching nodes, the copper area connected to SOURCE should be minimized to minimize EMI within the thermal constraints of the design.

In the boost configuration, since the SOURCE pins are tied to DC return, the copper area connected to SOURCE can be maximized to improve heatsinking.

The loop formed between the LinkSwitch-TN, inductor (L1), freewheeling diode (D1), and output capacitor (C2) should be kept as small as possible. The BYPASS pin capacitor C1 (Figure 6) should be located physically close to the SOURCE (S) and BYPASS (BP) pins. To minimize direct coupling from switching nodes, the LinkSwitch-TN should be placed away from AC input lines. It may be advantageous to place capacitors C4 and C5 in-between LinkSwitch-TN and the AC input. The second rectifier diode D4 is optional, but may be included for better EMI performance and higher line surge withstand capability.

Quick Design Checklist

As with any power supply design, all LinkSwitch-TN designs should be verified for proper functionality on the bench. The following minimum tests are recommended:

- 1) Adequate DC rail voltage - check that the minimum DC input voltage does not fall below 70 VDC at maximum load, minimum input voltage.
- 2) Correct Diode Selection – UF400x series diodes are recommended only for designs that operate in MDCM at an ambient of 70 °C or below. For designs operating in continuous conduction mode (CCM) and/or higher ambients, then a diode with a reverse recovery time of 35 ns or better, such as the BYV26C, is recommended.
- 3) Maximum drain current - verify that the peak drain current is below the data sheet peak drain specification under worst-case conditions of highest line voltage, maximum overload (just prior to auto-restart) and highest ambient temperature.
- 4) Thermal check – at maximum output power, minimum input voltage and maximum ambient temperature, verify that the LinkSwitch-TN SOURCE pin temperature is 100 °C or below. This figure ensures adequate margin due to variations in $R_{DS(ON)}$ from part to part. A battery powered thermocouple

meter is recommended to make measurements when the SOURCE pins are a switching node. Alternatively, the ambient temperature may be raised to indicate margin to thermal shutdown.

In a *LinkSwitch-TN* design using a buck or buck boost converter topology, the SOURCE pin is a switching node. Oscilloscope measurements should therefore be made with probe grounded to a DC voltage, such as primary return or DC input rail, and not to the SOURCE pins. The power supply input must always be supplied from an isolated source (e.g. via an isolation transformer).



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS^(1,5)

DRAIN Voltage	- 0.3 V to 700 V
Peak DRAIN Current (LNK304)	400 mA (750 mA) ⁽²⁾
Peak DRAIN Current (LNK305)	800 mA (1500 mA) ⁽²⁾
Peak DRAIN Current (LNK306) ...	1400 mA (2600 mA) ⁽²⁾
FEEDBACK Voltage	- 0.3 V to 9 V
FEEDBACK Current	100 mA
BYPASS Voltage	-0.3 V to 9 V
Storage Temperature	-65 °C to 150 °C
Operating Junction Temperature ⁽³⁾	-40 °C to 150 °C
Lead Temperature ⁽⁴⁾	260 °C

Notes:

1. All voltages referenced to SOURCE, $T_A = 25\text{ °C}$.
2. The higher peak DRAIN current is allowed if the DRAIN to SOURCE voltage does not exceed 400 V.
3. Normally limited by internal circuitry.
4. 1/16" from case for 5 seconds.
5. Maximum ratings specified may be applied, one at a time, without causing permanent damage to the product. Exposure to Absolute Maximum Rating conditions for extended periods of time may affect product reliability.

THERMAL IMPEDANCE

Thermal Impedance: P/G Package:

(θ_{JA})	70 °C/W ⁽²⁾ ; 60 °C/W ⁽³⁾
(θ_{JC}) ⁽¹⁾	11 °C/W

Notes:

1. Measured on pin 2 (SOURCE) close to plastic interface.
2. Soldered to 0.36 sq. inch (232 mm²), 2oz. (610 g/m²) copper clad.
3. Soldered to 1 sq. inch (645 mm²), 2oz. (610 g/m²) copper clad.

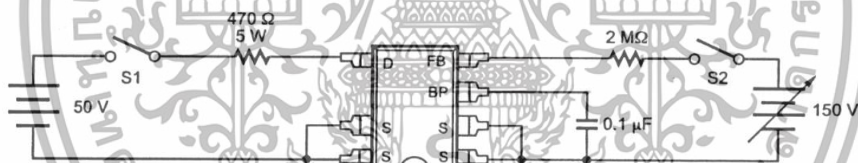
Parameter	Symbol	Conditions SOURCE = 0 V; T _J = -40 to 125 °C See Figure 7 (Unless Otherwise Specified)	Min	Typ	Max	Units	
CONTROL FUNCTIONS							
Output Frequency	f _{OSC}	T _J = 25 °C	Average	62	66	70	kHz
			Peak-Peak Jitter		4		
Maximum Duty Cycle	DC _{MAX}	S2 Open	66	69	72	%	
FEEDBACK Pin Turnoff Threshold Current	I _{FB}	T _J = 25 °C	30	49	68	μA	
FEEDBACK Pin Voltage	V _{FB}	I _{FB} = 49 μA	1.54	1.65	1.76	V	
DRAIN Supply Current	I _{S1}	V _{FB} ≥ 2 V (MOSFET Not Switching) See Note A		160	220	μA	
	I _{S2}	FEEDBACK Open (MOSFET Switching) See Notes A, B	LNK304		200	260	μA
			LNK305		220	280	
			LNK306		250	310	

Parameter	Symbol	Conditions		Min	Typ	Max	Units
		SOURCE = 0 V; T _J = -40 to 125 °C See Figure 7 (Unless Otherwise Specified)					
CONTROL FUNCTIONS (cont.)							
BYPASS Pin Charge Current	I _{CH1}	V _{BP} = 0 V T _J = 25 °C See Note C	LNK304	-5.5	-3.3	-1.8	mA
			LNK305	-7.5	-4.6	-2.5	
			LNK306	-7.5	-4.6	-2.5	
	I _{CH2}	V _{BP} = 4 V T _J = 25 °C See Note C	LNK304	-3.8	-2.3	-1.0	
			LNK305	-4.5	-3.3	-1.5	
			LNK306	-4.5	-3.3	-1.5	
BYPASS Pin Voltage	V _{BP}		5.55	5.8	6.10	V	
BYPASS Pin Voltage Hysteresis	V _{BPH}		0.8	0.95	1.2	V	
BYPASS Pin Supply Current	I _{BPSC}	See Note D	68			μA	
CIRCUIT PROTECTION							
Current Limit	I _{LIMIT} (See Note E)	di/dt = 65 mA/μs T _J = 25 °C	LNK304	240	257	275	mA
		di/dt = 415 mA/μs T _J = 25 °C		271	308	345	
		di/dt = 75 mA/μs T _J = 25 °C	LNK305	350	375	401	
		di/dt = 500 mA/μs T _J = 25 °C		396	450	504	
		di/dt = 95 mA/μs T _J = 25 °C	LNK306	450	482	515	
		di/dt = 610 mA/μs T _J = 25 °C		508	578	647	
Minimum On Time	t _{ON(MIN)}		LNK304	280	360	475	ns
			LNK305	360	460	610	
			LNK306	400	500	675	
Leading Edge Blanking Time	t _{LEB}	T _J = 25 °C See Note F	170	215		ns	
Thermal Shutdown Temperature	T _{SD}		135	142	150	°C	
Thermal Shutdown Hysteresis	T _{SHD}	See Note G		75		°C	

Parameter	Symbol	Conditions		Min	Typ	Max	Units
		SOURCE = 0 V; T _J = -40 to 125 °C See Figure 7 (Unless Otherwise Specified)					
OUTPUT							
On-State Resistance	R _{DS(ON)}	LNK304 I _D = 25 mA	T _J = 25 °C		24	27.6	Ω
			T _J = 100 °C		38	44.2	
		LNK305 I _D = 35 mA	T _J = 25 °C		12	13.8	
			T _J = 100 °C		19	22.1	
		LNK306 I _D = 45 mA	T _J = 25 °C		7	8.1	
			T _J = 100 °C		11	12.9	
OFF-State Drain Leakage Current	I _{DSS}	V _{BP} = 6.2 V, V _{FB} ≥ 2 V, V _{DS} = 560 V, T _J = 125 °C	LNK304			50	μA
			LNK305			70	
			LNK306			90	
Breakdown Voltage	BV _{DSS}	V _{BP} = 6.2 V, V _{FB} ≥ 2 V T _J = 25 °C		700			V
Rise Time	t _R	Measured in a Typical Buck Converter Application			50		ns
Fall Time	t _F				50		ns
DRAIN Supply Voltage				50			V
Output Enable Delay	t _{EN}	See Figure 9				10	μs
Output Disable Setup Time	t _{DST}				0.5		μs
Auto-Restart ON-Time	t _{AR}	T _J = 25 °C See Note H			50		ms
Auto-Restart Duty Cycle	DC _{AR}				6		%

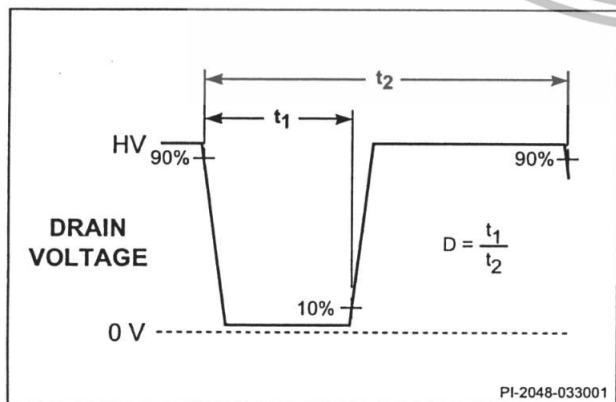
NOTES:

- Total current consumption is the sum of I_{S1} and I_{DSS} when FEEDBACK pin voltage is ≥ 2 V (MOSFET not switching) and the sum of I_{S2} and I_{DSS} when FEEDBACK pin is shorted to SOURCE (MOSFET switching).
- Since the output MOSFET is switching, it is difficult to isolate the switching current from the supply current at the DRAIN. An alternative is to measure the BYPASS pin current at 6 V.
- See Typical Performance Characteristics section Figure 14 for BYPASS pin start-up charging waveform.
- This current is only intended to supply an optional optocoupler connected between the BYPASS and FEEDBACK pins and not any other external circuitry.
- For current limit at other di/dt values, refer to Figure 13.
- This parameter is guaranteed by design.
- This parameter is derived from characterization.
- Auto-restart on time has the same temperature characteristics as the oscillator (inversely proportional to frequency).



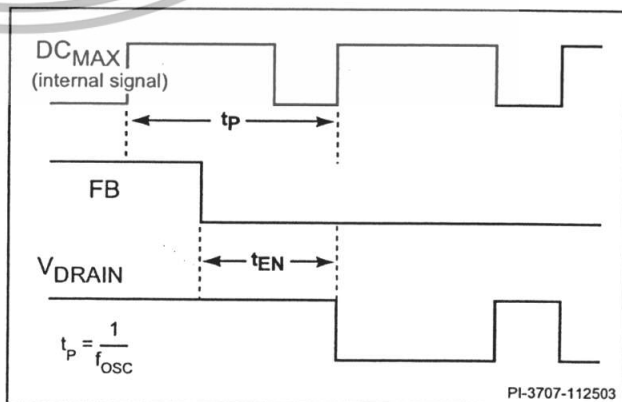
PI-3490-111903

Figure 7. LinkSwitch-TN General Test Circuit.



PI-2048-033001

Figure 8. LinkSwitch-TN Duty Cycle Measurement.



PI-3707-112503

Figure 9. LinkSwitch-TN Output Enable Timing.

Typical Performance Characteristics

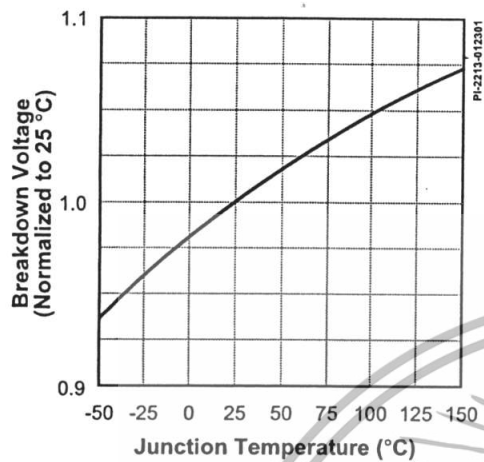


Figure 10. Breakdown vs. Temperature.

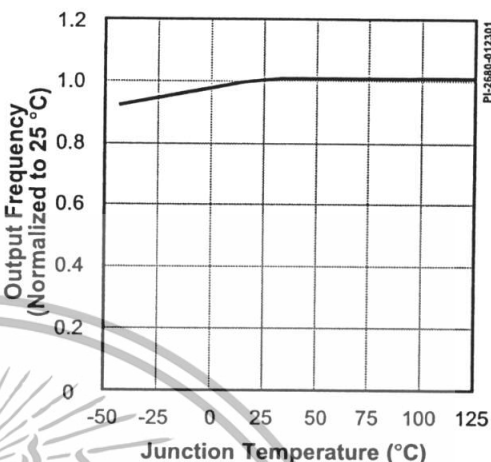


Figure 11. Frequency vs. Temperature.

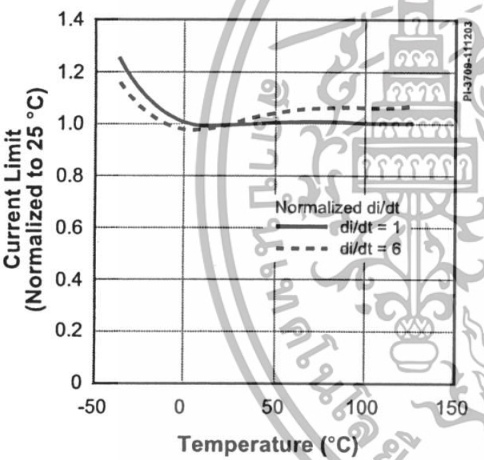


Figure 12. Current Limit vs. Temperature at Normalized di/dt.

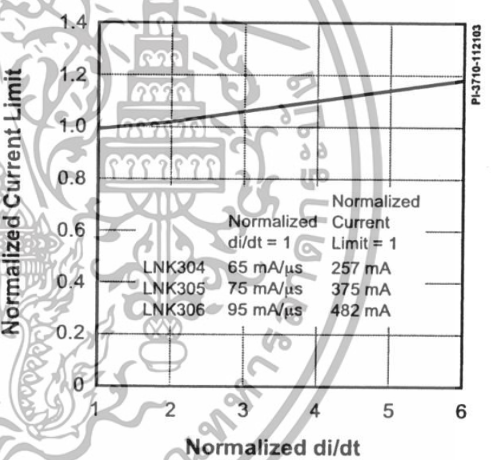


Figure 13. Current Limit vs. di/dt.

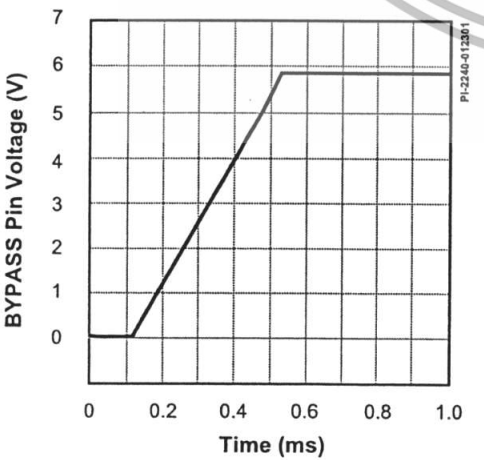


Figure 14. BYPASS Pin Start-up Waveform.

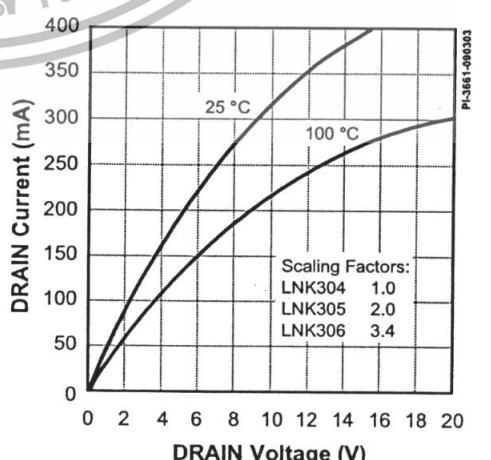


Figure 15. Output Characteristics.

Typical Performance Characteristics (cont.)

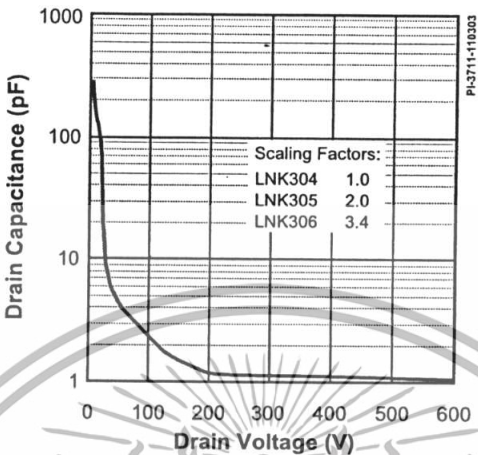
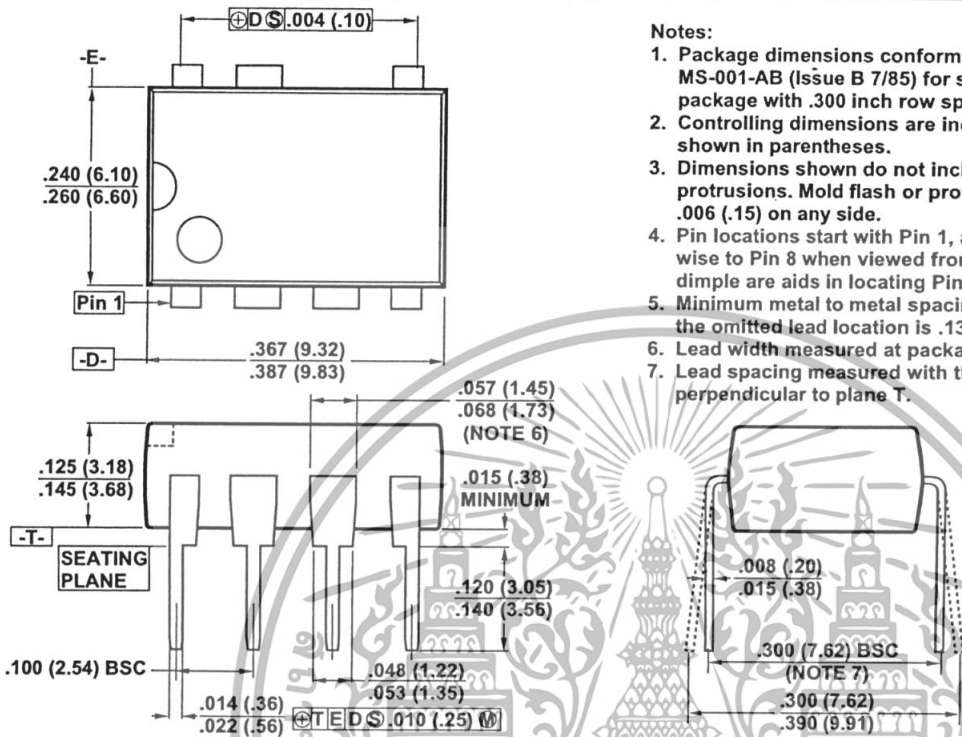


Figure 16. C_{oss} vs. Drain Voltage.

PART ORDERING INFORMATION	
 LNK 304 G - TL	LinkSwitch Product Family
	TN Series Number
	Package Identifier
	G Plastic Surface Mount DIP
	P Plastic DIP
	Package/Lead Options
	Blank Standard Configurations
TL	Tape & Reel, 1 k pcs minimum, G Package only

DIP-8B

- Notes:
- 1. Package dimensions conform to JEDEC specification MS-001-AB (Issue B 7/85) for standard dual-in-line (DIP) package with .300 inch row spacing.
 - 2. Controlling dimensions are inches. Millimeter sizes are shown in parentheses.
 - 3. Dimensions shown do not include mold flash or other protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed .006 (.15) on any side.
 - 4. Pin locations start with Pin 1, and continue counter-clockwise to Pin 8 when viewed from the top. The notch and/or dimple are aids in locating Pin 1. Pin 6 is omitted.
 - 5. Minimum metal to metal spacing at the package body for the omitted lead location is .137 inch (3.48 mm).
 - 6. Lead width measured at package body.
 - 7. Lead spacing measured with the leads constrained to be perpendicular to plane T.

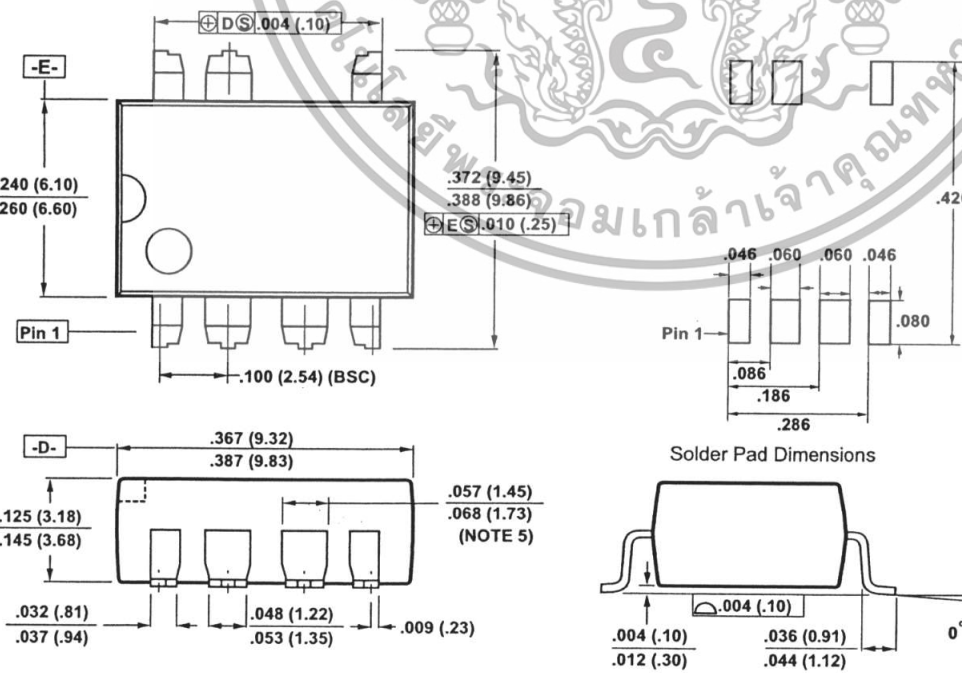


P08B

PI-2551-041003

SMD-8B

- Notes:
- 1. Controlling dimensions are inches. Millimeter sizes are shown in parentheses.
 - 2. Dimensions shown do not include mold flash or other protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed .006 (.15) on any side.
 - 3. Pin locations start with Pin 1, and continue counter-clockwise to Pin 8 when viewed from the top. Pin 6 is omitted.
 - 4. Minimum metal to metal spacing at the package body for the omitted lead location is .137 inch (3.48 mm).
 - 5. Lead width measured at package body.
 - 6. D and E are referenced datums on the package body.



G08B

PI-2546-080703

Revision	Notes	Date
C	Release Final Data Sheet.	12/03
D	Corrected Minimum On Time.	1/04

For the latest updates, visit our Web site: www.powerint.com

PATENT INFORMATION

Power Integrations reserves the right to make changes to its products at any time to improve reliability or manufacturability. Power Integrations does not assume any liability arising from the use of any device or circuit described herein, nor does it convey any license under its patent rights or the rights of others.

The products and applications illustrated herein (including circuits external to the products and transformer construction) may be covered by one or more U.S. and foreign patents or potentially by pending U.S. and foreign patent applications assigned to Power Integrations. A complete list of Power Integrations' patents may be found at www.powerint.com.

LIFE SUPPORT POLICY

POWER INTEGRATIONS' PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF POWER INTEGRATIONS. As used herein:

1. Life support devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

The PI logo, **TOPSwitch**, **TinySwitch**, **LinkSwitch** and **EcoSmart** are registered trademarks of Power Integrations. **PI Expert** and **DPA-Switch** are trademarks of Power Integrations. ©Copyright 2004, Power Integrations

WORLD HEADQUARTERS

Power Integrations
5245 Hellyer Avenue
San Jose, CA 95138, USA.
Main: +1-408-414-9200
Customer Service:
Phone: +1-408-414-9665
Fax: +1-408-414-9765
e-mail: usasales@powerint.com

AMERICAS

Power Integrations
4335 South Lee Street,
Suite G
Buford, GA 30518, USA
Phone: +1-678-714-6033
Fax: +1-678-714-6012
e-mail: usasales@powerint.com

CHINA (SHANGHAI)

Power Integrations
International Holdings, Inc.
Rm 807, Pacheer
Commercial Centre
555 Nanjing West Road
Shanghai, 200041, China
Phone: +86-21-6215-5548
Fax: +86-21-6215-2468
e-mail: chinasales@powerint.com

APPLICATIONS HOTLINE

World Wide +1-408-414-9660

CHINA (SHENZHEN)

Power Integrations
International Holdings, Inc.
Rm# 1705, Bao Hua Bldg.
1016 Hua Qiang Bei Lu
Shenzhen Guangdong,
518031, China
Phone: +86-755-8367-5143
Fax: +86-755-8377-9610
e-mail: chinasales@powerint.com

GERMANY

Power Integrations GmbH
Rueckerstrasse 3
D-80336, Muenchen, Germany
Phone: +49-89-527-3910
Fax: +49-89-527-3920
e-mail: eurosales@powerint.com

INDIA (TECHNICAL SUPPORT)

Innovatech
261/A, Ground Floor
7th Main, 17th Cross,
Sadashivanagar
Bangalore 560080
Phone: +91-80-5113-8020
Fax: +91-80-5113-8023
e-mail: indiasales@powerint.com

APPLICATIONS FAX

World Wide +1-408-414-9760

ITALY

Power Integrations S.r.l.
Via Vittorio Veneto 12,
Bresso
Milano, 20091, Italy
Phone: +39-028-928-6001
Fax: +39-028-928-6009
e-mail: eurosales@powerint.com

JAPAN

Power Integrations, K.K.
Kethin-Tatemond 1st Bldg.
12-20 Shin-Yokohama
2-Chome,
Kohoku-ku, Yokohama-shi,
Kanagawa 222-0033, Japan
Phone: +81-45-471-1021
Fax: +81-45-471-3717
e-mail: japansales@powerint.com

KOREA

Power Integrations
International Holdings, Inc.
8th Floor, DongSung Bldg.
17-8 Yoido-dong,
Youngdeungpo-gu,
Seoul, 150-874, Korea
Phone: +82-2-782-2840
Fax: +82-2-782-4427
e-mail: koreasales@powerint.com

SINGAPORE (ASIA PACIFIC HEADQUARTERS)

Power Integrations, Singapore
51 Newton Road
#15-08/10 Goldhill Plaza
Singapore, 308900
Phone: +65-6358-2160
Fax: +65-6358-2015
e-mail: singaporesales@powerint.com

TAIWAN

Power Integrations
International Holdings, Inc.
5F-1, No. 316, Nei Hu Rd., Sec. 1
Nei Hu Dist.
Taipei, Taiwan 114, R.O.C.
Phone: +886-2-2659-4570
Fax: +886-2-2659-4550
e-mail: taiwansales@powerint.com

UK (EUROPE & AFRICA HEAD-QUARTERS)

Power Integrations (Europe) Ltd.
1st Floor, St. James's House
East Street
Farnham
Surrey
GU9 7TJ
United Kingdom
Phone: +44 (0) 1252-730-140
Fax: +44 (0) 1252-727-689
e-mail: eurosales@powerint.com